

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Estudio de la correlación entre los ensayos (DCP) penetrómetro dinámico de cono y (CBR) relación de soporte de california en vías rurales de bajo volumen de tránsito**

**Juan Daniel Barreno Proaño**

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
**Ingeniero Civil**

Quito, 18 de mayo de 2021

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE LA CARRERA**

**Estudio de la correlación entre los ensayos (DCP) penetrómetro dinámico de cono y (CBR) relación de soporte de california en vías rurales de bajo volumen de tránsito**

**Juan Daniel Barreno Proaño**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Ing. Luis Gustavo Boada Parra. M.Sc**

Quito, 18 de mayo de 2021

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Juan Daniel Barreno Proaño

Código 00133602:

Cédula de identidad: 0604319889

Lugar y fecha: Quito, 18 de mayo de 2021

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

El estudio de suelos a nivel de subrasante se ha convertido en una pieza fundamental para el diseño de pavimentos. Por esa razón, se ha realizado un estudio enfocado en las vías rurales de bajo nivel de tránsito de la parroquia Guayllabamba en el distrito metropolitano de Quito, en donde, se han extraído dos calicatas por cada arteria vial para determinar las propiedades, capacidad de soporte y tipo de suelo. Estas propiedades del suelo se determinaron mediante los ensayos de Límite Líquido y Límite Plástico, con ellas se estableció el tipo de suelo juntamente con la granulometría de la muestra; así como también el contenido de humedad óptimo en la que el suelo alcanzará la máxima resistencia mediante el ensayo de compactación Proctor Estándar. En ese sentido, el suelo fue sujeto a dos ensayos para evaluar su capacidad de soporte, el primero fue el ensayo (DCP) Penetrómetro Dinámico de Cono en campo y (CBR) Relación de Soporte California en laboratorio, con los resultados de estos ensayos se determinó una correlación mutua que será de gran utilidad para la planificación de futuras obras de vialidad en la zona.

## **ABSTRACT**

The study of soils at the subgrade level has become the main piece for the design of pavements. For this reason, a study has been carried out focused on low-traffic rural roads in the Guayllabamba parish of the metropolitan district of Quito, where two soil pits for each road have been extracted to determine the properties, bearing capacity, and type of soil. These soil properties were determined by the liquid limit and plastic limit tests, with that tests, it was established the type of soil together with the granulometry of the sample; as well as the optimal moisture content in which the soil will reach the maximum capacity through the Proctor Standard compaction test. In that sense, the soil was subjected to two tests for determining the bearing capacity, the first one, the Dynamic Cone Penetrometer test (DCP) and California Bearing Ratio test (CBR); with the results of these tests, a mutual correlation with great importance it was determined to applicate on new road works.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
OBJETIVOS .....	12
Objetivo General .....	12
Objetivos Específicos.....	12
INTRODUCCIÓN .....	12
Diagnóstico.....	12
Antecedentes .....	13
MARCO TEÓRICO.....	14
Suelos .....	14
Definición.....	14
Consistencia del suelo.....	15
Metodología para la clasificación de suelos.....	16
Compactación.....	20
Definición.....	20
Metodología para la compactación del suelo .....	20
Metodología para la aplicación del ensayo CBR .....	21
Metodología para la aplicación del ensayo DCP .....	23
DESARROLLO DEL TEMA .....	25
Calle Los Sauces .....	26
Localización.....	26
Tamizado en peso de las muestras representativas.....	26
Determinación del límite líquido.....	27
Determinación del límite plástico.....	27
Determinación del Índice de plasticidad.....	28
Clasificación del suelo.....	28
Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.....	29
Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.....	29
Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.....	38
Calle Santa Rosa.....	40
Localización.....	40
Tamizado en peso de las muestras representativas.....	41

Determinación del límite líquido.....	41
Determinación del límite plástico.....	42
Determinación del Índice de plasticidad.....	42
Clasificación del suelo.....	42
Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.....	43
Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.....	44
Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.....	52
Calle Santo Domingo de Sevilla .....	54
Localización.....	54
Tamizado en peso de la muestra representativa.....	55
Determinación del límite líquido.....	55
Determinación del límite plástico.....	56
Determinación del Índice de plasticidad.....	56
Clasificación del suelo.....	56
Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.....	57
Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.....	58
Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.....	67
Calle 15 de Junio.....	69
Localización.....	69
Tamizado en peso de la muestra representativa.....	70
Determinación del límite líquido.....	70
Determinación del límite plástico.....	71
Determinación del Índice de plasticidad.....	71
Clasificación del suelo.....	72
Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.....	73
Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.....	73
Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.....	82
Calle Pueblo Viejo .....	84
Localización.....	84
Tamizado en peso de la muestra representativa.....	85
Determinación del límite líquido.....	85
Determinación del límite plástico.....	86
Determinación del Índice de plasticidad.....	86
Clasificación del suelo.....	86
Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.....	87

Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio. ....	88
Determinación del número DCP mediante ensayo in situ. ....	96
Calle San Pedruco .....	98
Localización.....	98
Tamizado en peso de la muestra representativa. ....	99
Determinación del límite líquido. ....	99
Determinación del límite plástico.....	100
Determinación del Índice de plasticidad. ....	100
Clasificación del suelo.....	100
Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo. ....	101
Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio. ....	102
Determinación del número DCP mediante ensayo in situ. ....	110
Calle 24 de Mayo .....	112
Localización.....	112
Tamizado en peso de la muestra representativa. ....	113
Determinación del límite líquido. ....	113
Determinación del límite plástico.....	114
Determinación del Índice de plasticidad. ....	114
Clasificación del suelo.....	114
Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo. ....	115
Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.....	116
Determinación del número DCP mediante ensayo in situ. ....	124
Calle Los Huertos.....	126
Localización.....	126
Tamizado en peso de la muestra representativa. ....	127
Determinación del límite líquido. ....	127
Determinación del límite plástico.....	128
Determinación del Índice de plasticidad. ....	128
Clasificación del suelo.....	128
Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo. ....	129
Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio. ....	130
Determinación del número DCP mediante ensayo in situ. ....	138
Correlación entre los ensayos (DCP) Penetrómetro Dinámico de Cono y (CBR) relación de Soporte california .....	140
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	141

Referencias Bibliográficas .....	142
ANEXO A: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE SANTA ROSA #1] .....	144
ANEXO B: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE SANTA ROSA #2] .....	144
ANEXO C: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE 15 DE JUNIO #1] .....	145
ANEXO D: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE 15 DE JUNIO #2] .....	145
ANEXO E: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE LOS SAUCES #1].....	146
ANEXO F: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE LOS SAUCES #2].....	146
ANEXO G: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE SANTO DOMINGO DE SEVILLA #1].....	147
ANEXO H: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE SANTO DOMINGO DE SEVILLA #2].....	147
ANEXO I: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE PUEBLO VIEJO #1] .....	148
ANEXO J: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE PUEBLO VIEJO #2].....	148
ANEXO K: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE LOS HUERTOS #1] .....	149
ANEXO L: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE LOS HUERTOS #2].....	149
ANEXO M: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [24 DE MAYO #1] .....	150
ANEXO N: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [24 DE MAYO #2] .....	150
ANEXO Ñ: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [SAN PEDRUCO #1].....	151
ANEXO O: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [SAN PEDRUCO #2] .....	151
ANEXO P: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [LOS SAUCES]....	152
ANEXO Q: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [LOS SAUCES] ...	153
ANEXO R: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [LOS SAUCES] .	154
ANEXO S: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [LOS SAUCES].....	155
ANEXO T: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [SANTA ROSA] ..	157
ANEXO U: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [SANTA ROSA] ..	158
ANEXO V: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [SANTA ROSA]	160
ANEXO W: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [SANTA ROSA].....	160
ANEXO X: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [SANTO DOMINGO DE SEVILLA] .....	161
ANEXO Y: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [SANTO DOMINGO DE SEVILLA] .....	163
ANEXO Z: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [SANTO DOMINGO DE SEVILLA] .....	164
ANEXO AA: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [SANTO DOMINGO DE SEVILLA] .....	165

ANEXO AB: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [15 DE JUNIO] .	167
ANEXO AC: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [15 DE JUNIO]..	168
ANEXO AD: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [15 DE JUNIO]	170
ANEXO AE: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [15 DE JUNIO].....	170
ANEXO AF: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [PUEBLO VIEJO] .....	172
ANEXO AG: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [PUEBLO VIEJO] .....	174
ANEXO AH: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [PUEBLO VIEJO] .....	175
ANEXO AI: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [PUEBLO VIEJO] .....	176
ANEXO AJ: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [SAN PEDRUCO] .....	177
ANEXO AK: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [SAN PEDRUCO] .....	179
ANEXO AL: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [SAN PEDRUCO] .....	180
ANEXO AM: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [SAN PEDRUCO].....	181
ANEXO AN: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [24 DE MAYO]	182
ANEXO AO: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [24 DE MAYO] .	184
ANEXO AP: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [24 DE MAYO] .....	185
ANEXO AQ: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [24 DE MAYO] .....	186
ANEXO AR: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [LOS HUERTOS] .....	188
ANEXO AS: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [LOS HUERTOS] .....	189
ANEXO AT: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [LOS HUERTOS] .....	190
ANEXO AU: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [LOS HUERTOS].....	191

## ÍNDICE DE TABLAS

## ÍNDICE DE FIGURAS

## OBJETIVOS

### Objetivo General

- Crear una correlación entre el ensayo DCP con respecto al ensayo CBR

### Objetivos Específicos

- Determinar el tipo de suelo según granulometría y plasticidad
- Evaluar la capacidad resistente del suelo mediante el ensayo DCP en campo
- Evaluar la capacidad resistente del suelo mediante el ensayo CBR en laboratorio

## INTRODUCCIÓN

### Diagnóstico

Con el paso de los años, las obras viales han brindado facilidades para que el desarrollo económico y la interacción social entre la población de un país fluya de manera exponencial. No obstante, estudios previos a estas obras civiles como lo es el estudio de suelos han sido la base de cualquier obra civil de trascendencia, por ende, este aspecto pasa a ser el eje principal para entablar una perspectiva constructiva hacia el futuro.

Las obras viales en su mayoría dependen de la financiación del estado, por lo cual, los estudios geotécnicos son comúnmente considerados no rentables por su larga duración o alto costo; dejándolo a criterio del contratista. En consecuencia, este proyecto de titulación está guiado en implementar el ensayo de Cono Dinámico de Penetración o por sus siglas en inglés (DCP) normalizado en la ASTM D6951 para evaluar la resistencia del suelo, con un alto grado de optimización de recursos a bajo costo. Además, se implementará de igual forma el ensayo de Relación de Soporte California o por sus siglas en inglés (CBR) en laboratorio, normalizado en la ASTM D1883, de tal forma que se pueda encontrar una correlación entre

estos dos ensayos y poder estimar un valor de CBR que es un parámetro importante a la hora de diseñar el pavimento de una obra vial.

### **Antecedentes**

Durante el año de 1956 se desarrolló el Cono Dinámico de Penetración, que en la actualidad consiste en un martillo deslizante de 8 kg, con una caída libre de 575mm y en el extremo inferior una punta cónica a 60 grados de la horizontal con un diámetro de 20mm. De esta manera, el instrumento realiza las lecturas de penetración mediante una regla de medición sujeta por dos soportes, un soporte superior unido al yunque, y un soporte inferior fijo a la regla unido a la barra de penetración.

Por otra parte, durante el año 1929 fue propuesto el ensayo Relación de Soporte California, usado para clasificar la resistencia de un suelo a ser usado como subrasante o base en el diseño de pavimentos para carreteras. En este ensayo se determina la carga necesaria para hacer penetrar un pisón en una muestra de suelo compactada dentro de un molde cilíndrico bajo las condiciones más desfavorables, esta penetración se produce a una tasa de 1.27mm/min, en donde, el suelo alcanzará una deformación sujeta a un esfuerzo proporcionado por el pisón metálico.

Los ensayos antes mencionados serán implementados en suelos de la parroquia rural de Guayllabamba perteneciente al cantón Quito. Actualmente, la parroquia cuenta en su gran parte con obras viales de tercer orden, es decir, con pavimentos articulados destinados al poco flujo vehicular y al tipo de camiones que con poca frecuencia transitan por la zona. También, existen arterias viales sin más que el nivel de subrasante, de donde se tomarán las muestras para proceder con el estudio de resistencia con la ayuda del ensayo CBR y determinar su capacidad in situ mediante el ensayo DCP ante un futuro diseño de pavimentos.



Figura #1: División parroquial del Distrito Metropolitano de Quito. Municipio de Quito (2021). Recuperado de <https://www.quito.gob.ec/>

## MARCO TEÓRICO

### Suelos

#### Definición.

El planeta tierra posee una gran variedad de suelos, formados por la rotura de rocas que se han desintegrado a causa de la meteorización (Berry & Reid, 1993). En ese sentido, el nuevo suelo puede permanecer en el lugar donde se formó, considerándolo como suelo residual, por otra parte, los suelos que han sido desplazados por acciones climáticas o por mano del hombre se consideran suelos transportados.

En consecuencia, para determinar los tipos de suelo, el estudio está enfocado al tamaño de las partículas, independientemente del origen del suelo. Por consiguiente, a causa

de la amplia variabilidad de las partículas, los suelos generalmente son llamados grava, arena, limo o arcilla siendo los dos primeros similares en composición mineralógica que la roca madre, destacándose como los más apropiados para la construcción de cimientos o como parte de las capas granulares de un pavimento (Das, 1994). Los limos son partículas imperceptibles de suelo, que están compuestos de fracciones muy finas de cuarzo y en pequeña cantidad de minerales micáceos. Por último, las partículas de arcilla que al ser de tamaño microscópico experimentan fuerzas superficiales que superan a las fuerzas gravitacionales de la masa, causando que esta porción suelo sea la más cohesiva de todas las mencionadas anteriormente.

### **Consistencia del suelo.**

En todos los suelos existen minerales de arcilla, dentro de las cuales se concentra la mayor cantidad de humedad en la muestra de suelo. Dicho contenido de humedad cambia a partir de un estado sólido en condición seca, a un estado semisólido con poca humedad en el que el suelo se desmorona sin plasticidad, luego en presencia de agua a un estado plástico, hasta comportarse como un líquido en altos contenidos de humedad (Berry & Reid, 1993). Por esta razón, a principios del siglo pasado se elaboró un procedimiento para describir la consistencia de los suelos en contenidos de agua variables, llamado los límites de Atterberg.

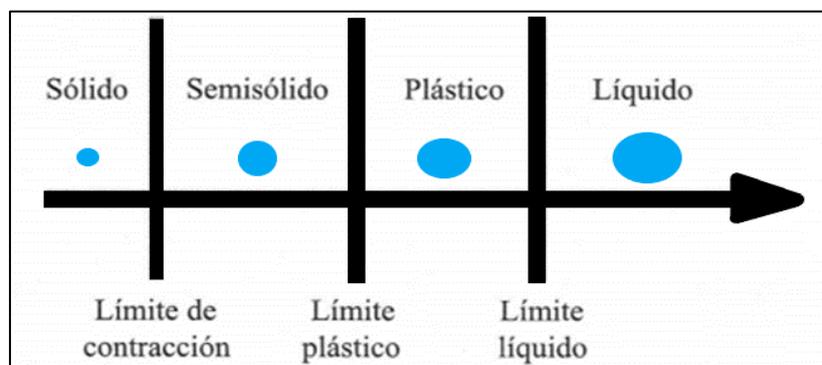


Figura #2: Límites de Atterberg

Como se puede evidenciar en la figura #2, mientras el contenido de agua asciende se puede caracterizar las etapas en las que la superficie de los minerales de arcilla elevan su contenido de humedad hasta saturarse. Por ende, Das (1994) explica que:

El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el límite de contracción. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite de plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. Esos límites se conocen también como límites de Atterberg. (p.40)

Los límites de Atterberg se determinan mediante ensayos normados por la ASTM, en primera instancia se puede calcular el límite líquido mediante el ensayo de Casagrande, en donde, un dispositivo mecánico impone a una pasta de suelo a ejercer su fuerza cortante a  $25 \text{ g/cm}^2$ , determinado su porcentaje de límite líquido en base a su contenido de humedad. Por otra parte, el porcentaje de agua que da lugar al límite plástico es determinado con rollitos de suelo de 3.2mm de diámetro en los cuales el suelo se desmorona (ASTM D4318, 2017). De esta manera, se puede obtener el índice de plasticidad que no es más que la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico; estos contenidos de humedad serán necesarios para poder determinar el tipo de suelo específico con el que se está trabajando.

### **Metodología para la clasificación de suelos**

A lo largo de los años, un sinnúmero de métodos para clasificar los suelos se han propuesto de cara a las obras civiles. Siendo el sistema de clasificación AASHTO y el sistema unificado para la clasificación de suelos SUCS, los más utilizados. No obstante, en 1969 la American Society for Testing and Materials decidió adoptar el método SUCS como método estandarizado para la clasificación de suelos (Berry & Reid, 1993).

El sistema unificado para la clasificación de suelos fue propuesto por Arthur Casagrande en 1942, este sistema de clasificación identifica a los tipos de suelo mediante prefijos, siendo el prefijo G destinado al suelo con partículas de grava y el prefijo S al suelo con partículas de arena (ASTM D2487, 2011). Los suelos mencionados anteriormente pueden tomar este prefijo una vez que se ha comprobado que menos del 50% de su masa pasa por tamiz No.200. En ese sentido, para caracterizar a los suelos más finos, es decir, a los suelos con el 50% o más de su masa que pasa por el tamiz No.200 se adopta en primera instancia el prefijo M que es destinado para los suelos con fragmentos de limo inorgánico, el prefijo C para arcillas inorgánicas, y finalmente el prefijo O para suelos con partículas de limo o arcillas orgánicas.

Para el caso en particular de los suelos de estudio, se ha determinado visualmente que el suelo posee partículas gruesas, es decir, será de tipo gravoso o arenoso con muy pocas partículas finas. En ese sentido, solo se presentará la secuencia recomendada por Das (1994) para el caso de suelos gruesos:

- 1) Determine el porcentaje de suelo que pasa por la malla No.200 ( $F$ ). Si  $F < 50\%$ , se trata de un suelo de grano grueso, es decir, tenemos un suelo tipo grava o arenoso (donde  $F$  = porcentaje de granos más finos que la malla No.200). Vaya al paso 2. Si  $F \geq 50\%$ , se trata de un suelo de grano fino. Vaya al paso 3 (p.41)
- 2) Para un suelo de grano grueso,  $(100 - F)$  es la fracción gruesa en porcentaje. Determine el porcentaje de suelo que pasa la malla No.4 y es retenido en la malla No.200, ( $F_1$ ). Si  $F_1 < (100 - F)/2$ , entonces el suelo tiene más grava que arena, por lo que es un suelo tipo grava. Vaya a la figura #3 y figura #4 para determinar el símbolo de grupo, y luego vaya a la figura #5 para obtener el nombre del grupo propio del suelo. Si  $F_1 \geq (100 - F)/2$ , entonces se trata de un suelo arenoso. Vaya a la

figura #6 y figura #4 para determinar el símbolo de grupo y a la figura #5 para obtener el nombre de grupo de suelo (p.41-42)

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC

Figura #3: Símbolos de grupo para suelos tipo grava. Das (1994). Recuperado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

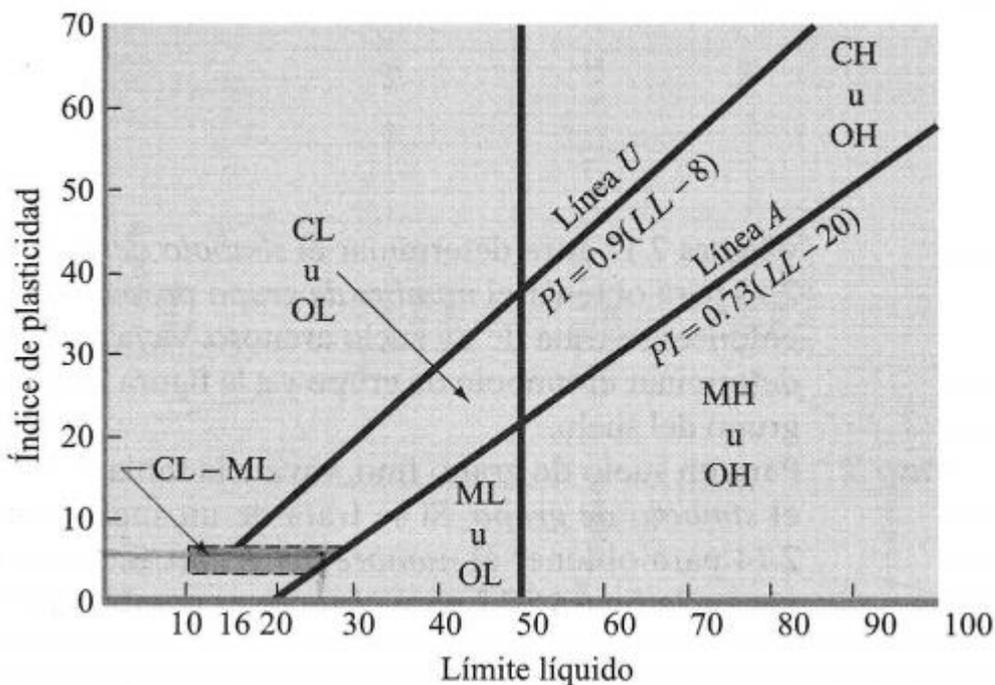


Figura #4: Carta de plasticidad Das (1994). Recuperado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

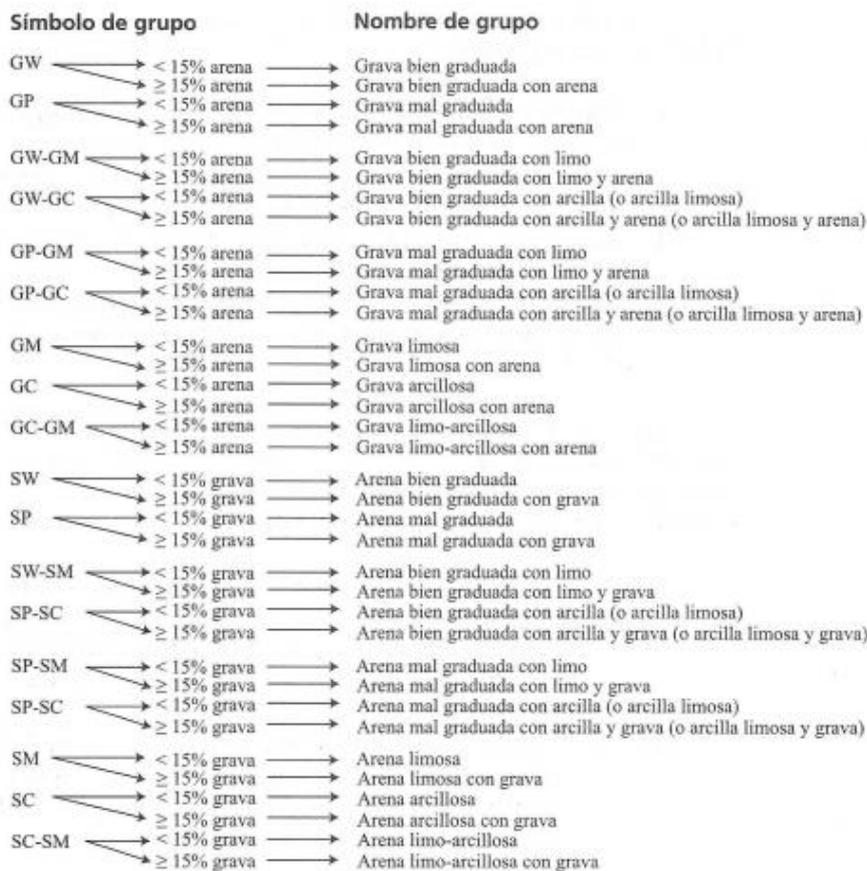


Figura #5: Diagrama de flujo par nombres de grupo de suelos tipo grava y arenosos. Das (1994). Recuperado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Figura #6: Símbolos de grupo para suelos arenosos. Das (1994). Recuperado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

## **Compactación**

### **Definición.**

Para mejorar las propiedades físicas de un suelo se debe incrementar su capacidad de carga, de tal forma que las construcciones civiles destinadas a este, como cimentaciones o pavimentos puedan ubicarse sobre el suelo sin la preocupación de que existan asentamientos indeseables, este proceso de mejoramiento de las características del suelo se considera como compactación (Das, 1994). El proceso de compactación consiste en remover las partículas de aire ocluidas en los vacíos de un estrato de suelo, el grado de compactación que alcanza un suelo se mide en base a su peso específico seco, ya que, este aumenta conforme aumenta el contenido de humedad; siendo el contenido de agua óptimo cuando el suelo alcanza su máximo peso específico seco.

### **Metodología para la compactación del suelo**

Para la determinación del peso específico seco y el contenido de humedad óptimo se realizará el ensayo de compactación mediante Proctor Estándar, en consecuencia, la preparación de la muestra debe regirse bajo la adopción de tres métodos que dependerán del tamizado de la muestra representativa de suelo, a través de los tamices No.4 y 3/8". Una vez determinado el método por cual se va a realizar la compactación se prepara, ajusta o arregla el molde cilíndrico correspondiente en donde se aplicará la masa de suelo (ASTM D698, 2018).

Debido a que, este método de compactación es para determinar el índice de resistencia de los suelos CBR, se realizará el método de compactación para una muestra seca, en el que se compactarán como mínimo 3 especímenes con contenidos de agua variables; la cantidad de suelo por espécimen también estará sujeta a uno de los tres métodos mencionados

anteriormente. Por consiguiente, se deberá registrar la masa del molde cilíndrico incluido el plato base. Luego, se rellenará el molde con tres capas de aproximadamente el mismo espesor, estas capas serán compactadas con 25 golpes si se realiza la compactación con el método A/B o con 56 golpes si se realiza la compactación con el método C (ASTM D698, 2018). Una vez que se alcance el último golpe de la tercera capa, la muestra no deberá estar por debajo del límite superior del molde, porque la muestra quedaría descartada automáticamente.

Después de que se haya compactado la última capa de la muestra representativa se debe retirar cuidadosamente el collar y plato base del molde, de tal manera que se pueda enrasar tanto la parte superior como inferior del molde con una regla recta de metal. En este punto se debe registrar la masa del molde junto con la muestra compactada y tomar un fragmento de la muestra para determinar el contenido de humedad.

### **Metodología para la aplicación del ensayo CBR**

Para la determinación del índice de resistencia de los suelos de subrasante mediante el ensayo CBR, se desarrollan los pasos correspondientes para su elaboración en laboratorio. En ese sentido, se debe preparar la muestra conforme a lo estipulado en la *Metodología para la compactación del suelo* detallada anteriormente, así como su contenido de humedad óptimo y densidad máxima seca. Una vez determinados estos parámetros se registra la masa del molde cilíndrico con su base, para luego ser instalado el collar y el disco espaciador con un papel filtro por encima de su superficie (ASTM D1883, 2016). Luego, se realiza una compactación similar a la empleada en el ensayo de compactación, no obstante, esta debe ser realizada hasta alcanzar la humedad y la densidad antes determinadas con un total de 56, 25 y 10 golpes por cada capa de suelo; esto con el objetivo de contrastar resultados del índice de soporte.

Una vez compactada la muestra representativa se prepara su inmersión en un tanque de agua para simular las condiciones más desfavorables a la que se presentaría de forma natural. Antes de esto, se toma una muestra de 100g en suelos finos o 500g en suelos gravosos, antes y después de la compactación; al terminar la compactación se retira el collar y se enrasa ambos lados del molde cilíndrico, se lo vuelve a montar de forma invertida colocando un papel filtro entre el molde y la base, registrando su masa en la balanza. Sobre esta configuración se coloca la placa perforada con vástago y sobre esta la sobrecarga necesaria para simular la carga de un pavimento sobre la muestra compactada, esta sobrecarga no deberá ser menor a 4.54 kg o 10 lb (ASTM D1883, 2016).

Antes de proceder con la inmersión, se registra una primera lectura correspondiente al hinchamiento del molde con el deformímetro en forma de trípode, también, se registra la hora y el día en la que se está realizando el ensayo. Acto seguido, se procede con la inmersión del molde con la muestra compactada y la sobrecarga, se deja la muestra sumergida por 4 días a nivel de agua constante. Al final de los 4 días, se registra nuevamente el valor que muestre el deformímetro con respecto al hinchamiento (ASTM D1883, 2016). Después de ocurrida la inversión se retira el molde del agua, escurriendo el agua que podría alojarse en la parte superior y se lo deja secar durante 15 minutos en posición natural; luego, se retira la sobrecarga del molde y la placa perforada para registrar la masa del molde con la muestra saturada dando paso al proceso de penetración.

Para proceder con el método de penetración se vuelve a sobrecargar el molde con el mismo peso con el que se realizó la inmersión, se coloca el molde en la prensa y se ajusta el dial medidor, el cual nos ayudará a medir la penetración del pisón de penetración; se aplica una carga preliminar de 44N para que pisón se asiente, se enceran tanto el dial como el medidor de carga y se procede con la penetración a una velocidad de 1.27mm/min; se registra la carga según las penetraciones detalladas en la figura #10 y se descarga (ASTM D1883,

2016). Por último, se desmonta el molde de la prensa y el suelo del molde, de tal forma que se retire una porción de suelo de la parte superior para determinar su contenido de humedad.

Tabla #1: Penetración a la que la carga debe ser registrada

PENETRACIÓN	
mm	in
0.64	0.03
1.27	0.05
1.91	0.08
2.54	0.10
3.18	0.13
3.81	0.15
4.45	0.18
5.08	0.20
7.62	0.30
10.16	0.40
12.70	0.50

### Metodología para la aplicación del ensayo DCP

Para la determinación de la resistencia del suelo mediante el ensayo DCP se lo realiza en campo con el instrumento de penetración. En primera instancia se debe realizar una inspección del equipo, verificando que las partes ensamblables estén libres de fragmentos de suelo o cualquier otra partícula que dificulte el libre acoplamiento de las piezas. En ese sentido, se debe colocar aceite lubricante en cada uno de los acoplamientos para evitar atascamientos. Para este método de prueba se necesitan tres operarios, uno que mantenga la verticalidad del penetrómetro, otro que realice la caída libre del mazo de 8kg y tome las lecturas de penetración, y un tercero que registre las lecturas de penetración. Para comenzar con el ensayo, la superficie a ensayarse debe estar totalmente plana, de tal forma que la base del penetrómetro se encuentre colocada de forma horizontal para conseguir una verticalidad de la regla ubicada paralela al aparato. Luego, se coloca el penetrómetro ensamblado asegurándose que la parte superior más ancha de la punta se encuentre al ras de la superficie del suelo; en este punto el tercer operario verificará la verticalidad del aparato para que el

segundo operario proceda con la elevación del mazo hasta tocar ligeramente el mango superior hasta dejarlo caer 575mm hasta el yunque. La cantidad de impactos entre lecturas puede variar según el criterio del operador en cuanto a la resistencia del material, sin embargo, se recomienda utilizar 5 impactos para la lectura inicial hasta determinar si el material ensayado es suave, normal o muy resistente; incrementando los impactos hasta 10 o disminuirlos a 1 (ASTM D6951, 2018). Por último, se registran las lecturas de penetración para cada grupo de impactos entre lecturas, con el fin de lograr realizar los cálculos de correlación para el ensayo CBR como indica la figura #11.

**Cuadro 1: Hoja de datos del DCP**

Proyecto: Camino del Servicio Forestal				Fecha: 7 julio 2001			
Ubicación: STA-30+50, 1 MRT of C/L				Personal: JLS & SDT			
Profundidad del punto cero bajo superficie: 0				Peso del mazo: 8 Kg. (17,6 lb)			
Clasificación del material: GW/CL				Condición del tiempo: Nublado, 25 °C (72 °F)			
Condición del pavimento: No aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de golpes <sup>A</sup>	Penetración acumulada <sup>B</sup> (mm)	Penetración entre lecturas <sup>C</sup> (mm)	Penetración por golpe <sup>D</sup> (mm)	Factor de mazo <sup>E</sup>	Índice DCP <sup>F</sup> (mm/golpe)	CBR % <sup>G</sup>	Humedad % <sup>H</sup>
0	0	--	--	--	--	--	--
5	25	25	5	1	5	50	
5	55	30	6	1	6	40	
15	125	70	5	1	5	50	
10	175	50	5	1	5	50	
5	205	30	6	1	6	40	
5	230	25	5	1	5	50	
10	280	50	5	1	5	50	
5	310	30	6	1	6	40	
5	340	30	6	1	6	40	
5	375	35	7	1	7	35	
5	435	60	12	1	12	18	

<sup>A</sup>Cantidad de golpes del mazo entre lecturas del ensayo

<sup>B</sup>Penetración acumulada después de cada set de golpes del mazo

<sup>C</sup>Diferencia en la penetración acumulada (nota de pie B) entre lecturas

<sup>D</sup>Nota de pie C dividida entre nota de pie A

<sup>E</sup>Anota 1 para el mazo de 8 Kg. (17.6 lb) y 2 para el mazo de 4.6 Kg. (10.1 lb)

<sup>F</sup>Nota de pie D x Nota de pie E

<sup>G</sup>De la correlación entre CBR y el Índice DCP

<sup>H</sup>Contenido de humedad cuando se disponga de este valor.

Figura #7: Hoja de datos para el registro de la penetración en campo por el método DCP.

ASTM (2018). Recuperado de Método de ensayo estándar para el uso del penetrómetro dinámico de cono en estructuras de pavimento.

## DESARROLLO DEL TEMA

Para proceder con la metodología, se realizó un reconocimiento del lugar de extracción, en donde, se tomaron muestras del suelo de subrasante. Sobre dicho suelo, se encuentran vías de bajo tránsito vehicular, las cuales serán objeto de estudio para el posterior mejoramiento de la capa de rodadura para beneficio de los moradores, así como del tránsito que circula por la zona.



Figura #8: Extracción de las muestras del suelo



Figura #9: Muestra de suelo extraída lista para transporte

Como se puede evidenciar en las figuras #8 y #9 el suelo fue extraído de la subrasante de tal forma que se lo pueda almacenar en un saco totalmente cerrado, esto con la finalidad de facilitar la preparación de la muestra para cada uno de los ensayos a realizarse, siendo el más importante, la determinación del CBR en laboratorio.

En ese sentido, se procede con la primera muestra de estudio correspondiente a la calle Los Sauces, de la cual se procede con la determinación de los parámetros iniciales correspondientes para la clasificación de suelo.

### **Calle Los Sauces**

#### **Localización.**

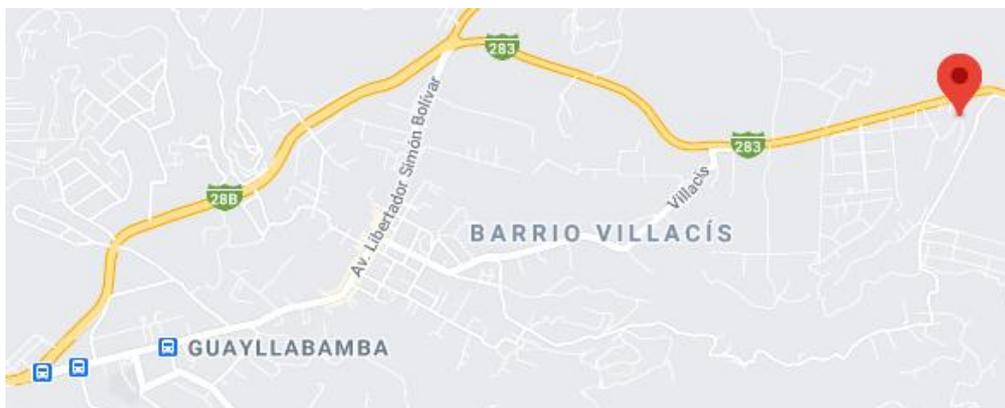


Figura #10: Ubicación satelital de la calle Los Sauces. Recuperado de

<https://www.google.com.ec/maps>

#### **Tamizado en peso de las muestras representativas.**

Una vez tamizada las muestras a través de los tamices estándar, se registra el peso del material retenido de los tamices, con ello, se caracteriza porcentualmente el peso retenido parcial, retenido acumulado y peso del material pasante. Con los resultados obtenidos del material pasante para cada una de las aberturas de los tamices, se ha realizado una curva granulométrica representada en el *Anexo P*. A partir de esta curva granulométrica podemos determinar gráficamente el diámetro de las partículas que en mayor parte está presente en la muestra representativa, no obstante, los diámetros de partículas más relevantes para la

clasificación de suelos son los que comprenden el 60, 30 y 10% del total de la muestra. Por tanto, al determinar gráficamente los valores del diámetro de las partículas se obtiene que 1.9mm, 1.0mm, 0.6mm y 0.61mm, 0.38mm y 0.25mm corresponden al 60, 30 y 10% de la muestra #1 y muestra #2, respectivamente.

#### **Determinación del límite líquido.**

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, el límite líquido corresponde al porcentaje de humedad en el que el suelo cambia de estado plástico a líquido. Por consiguiente, con el respaldo de los cálculos mostrados en el *Anexo Q* se procedió a determinar el límite líquido del suelo graficando una línea de tendencia entre el contenido de humedad y su respectivo número de golpes, con esta línea de tendencia se estableció una ecuación con la que se determinará analíticamente el contenido de humedad para 25 golpes de la Copa Casagrande, dando como resultado que con un 25.3% de contenido de humedad, se consigue llegar al límite líquido de la muestra #1, para el caso de la muestra #2 indica que con un 24.3% de contenido de humedad el suelo de la calle Los Sauces cambia de estado plástico a líquido.

#### **Determinación del límite plástico.**

De la misma forma que con el límite líquido, se han recolectado los datos correspondientes para la determinación del límite plástico del suelo, que de acuerdo con la teoría corresponde al contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico. Con los contenidos de humedad expuestos en el *Anexo R* se realizó un promedio para determinar el límite plástico, en consecuencia, el valor corresponde al 23.7% de contenido de humedad para que la muestra #1, para el caso de la muestra #2 se indica que el valor corresponde al 23.7% de contenido de humedad para que el suelo alcance el límite plástico.

### **Determinación del Índice de plasticidad.**

En este punto se determina el índice de plasticidad para las dos muestras de suelo de la calle Los Sauces, la cual nos servirá para determinar el símbolo de grupo correspondiente para la clasificación de suelos.

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = 25.3\% - 23.7\% = 1.6\%$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = 24.3\% - 23.7\% = 0.6\%$$

### **Clasificación del suelo.**

Una vez determinada la granulometría de la muestra de suelo y la naturaleza de su porción cohesiva con los Límites de Atterberg, se procede con la clasificación de la muestra de suelo.

En primera instancia se debe analizar el porcentaje pasante del tamiz No.200, puesto que, el suelo tiene aproximadamente el 0% del porcentaje pasante por dicho tamiz, el suelo se trata de un suelo grueso para ambas muestras. Luego, se analiza el porcentaje pasante del tamiz No.4, el cual es el 92% para la muestra #1 y el 87% para la muestra #2 indicando que el tipo de suelo grueso es una arena y no una grava.

En este punto, la figura #6 junto con la figura #4 serán de utilidad para posicionar al suelo con un símbolo de grupo. En ese sentido, se pudo determinar que la tipología del suelo corresponde a un SP, es decir, *Sand poorly graded o una Arena mal graduada*. De esta forma, con la carta de plasticidad se tomaron los valores del límite líquido y el índice de plasticidad para determinar que partículas finas se encuentran inmiscuidas en la muestra

representativa, dando como resultado una presencia significativa de *Limos inorgánicos de baja plasticidad*.

Por último, se debe agregar un símbolo de grupo al suelo de ser necesario, para ello, la figura #5 indica que para suelo arenoso se debe determinar si el porcentaje de grava es superior o inferior al 15%, para este caso particular de suelo, ambas muestras poseen menos del 15% de partículas gravosas. En consecuencia, como la carta de plasticidad puso en evidencia la presencia de partículas limosas y no arcillosas, el suelo será clasificado con un SP-SM que corresponde a una *Arena mal graduada con limo*. La simbología doble obedece a la afirmación de que “Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a las condiciones de frontera” (Juárez Badillo & Rodríguez, 2005, p.154).

#### **Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.**

Conforme a los datos expuestos en el *Anexo S*, se puede evidenciar el proceso a seguir para determinar la densidad seca de la muestra de suelo para cada molde a diferentes contenidos de humedad. Estas densidades se graficaron juntamente con su correspondiente contenido de humedad, de esta manera, el contenido de humedad óptimo que obedece a la densidad máxima seca es de 7.75% para la muestra #1 y 7.50% para la muestra #2.

#### **Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.**

Una vez realizados los trabajos de laboratorio se procedió con el ensayo de soporte califonia detallado en la metodología para tres moldes a diferentes energías de compactación. Debido a que, la máquina de carga proporciona resultados para cada 0.001mm de deformación, se tendrán muchos valores de la carga aplicada hasta alcanzar la deformación de 5.08mm requerida. En ese sentido, se ha respetado los valores de deformación sugeridos por la norma ASTM D1883 para realizar la gráfica del esfuerzo en función de la deformación.

Tabla #2: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Los Sauces muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.11	0.64
0.24	1.27
0.44	1.91
0.69	2.54
1.00	3.18
1.37	3.81
1.79	4.45
2.23	5.08

Tabla #3: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Los Sauces muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.15	0.64
0.33	1.27
0.53	1.91
0.75	2.54
1.01	3.18
1.29	3.81
1.58	4.45
1.87	5.08

Tabla #4: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Los Sauces muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.16	0.64
0.41	1.27
0.79	1.91
1.26	2.54
1.77	3.18
2.27	3.81
2.77	4.45
3.29	5.08

Tabla #5: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Los Sauces muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.03	0.64
0.17	1.27
0.28	1.91
0.40	2.54
0.54	3.18
0.69	3.81
0.88	4.45
1.08	5.08

Tabla #6: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Los Sauces muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.14	0.64
0.30	1.27
0.50	1.91
0.72	2.54
0.95	3.18
1.17	3.81
1.39	4.45
1.60	5.08

Tabla #7: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Los Sauces muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.15	0.64
0.28	1.27
0.41	1.91
0.53	2.54
0.66	3.18
0.79	3.81
0.94	4.45
1.07	5.08

En las tablas anteriores se puede evidenciar los datos obtenidos correspondientes al esfuerzo y a la deformación registrada por la máquina de carga y el deformímetro, por consiguiente, se procederá a graficar estos resultados para las diferentes energías de compactación en conjunto, para cada muestra.

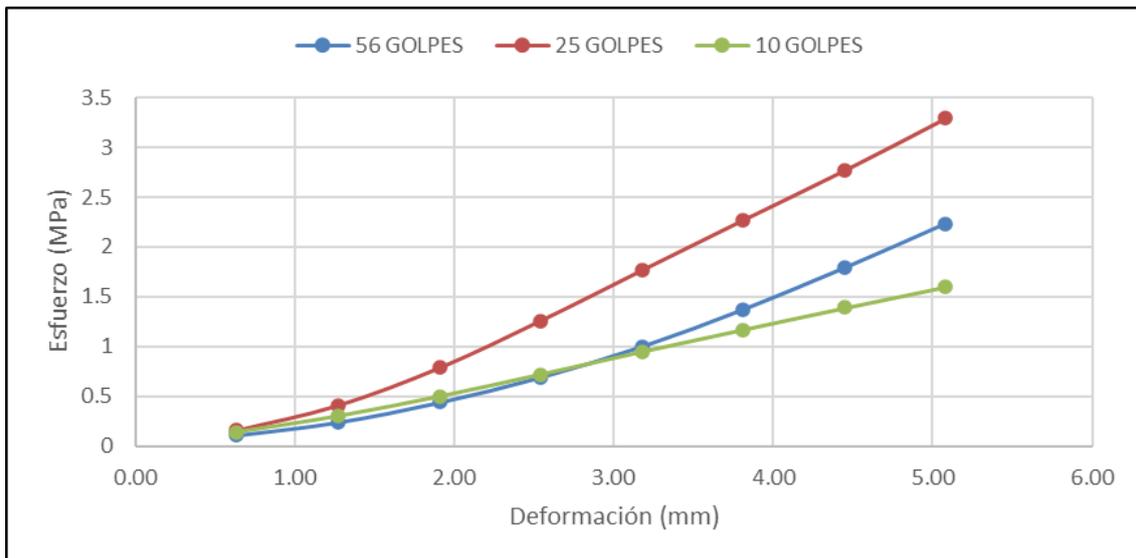


Figura #11: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Los Sauces muestra #1]

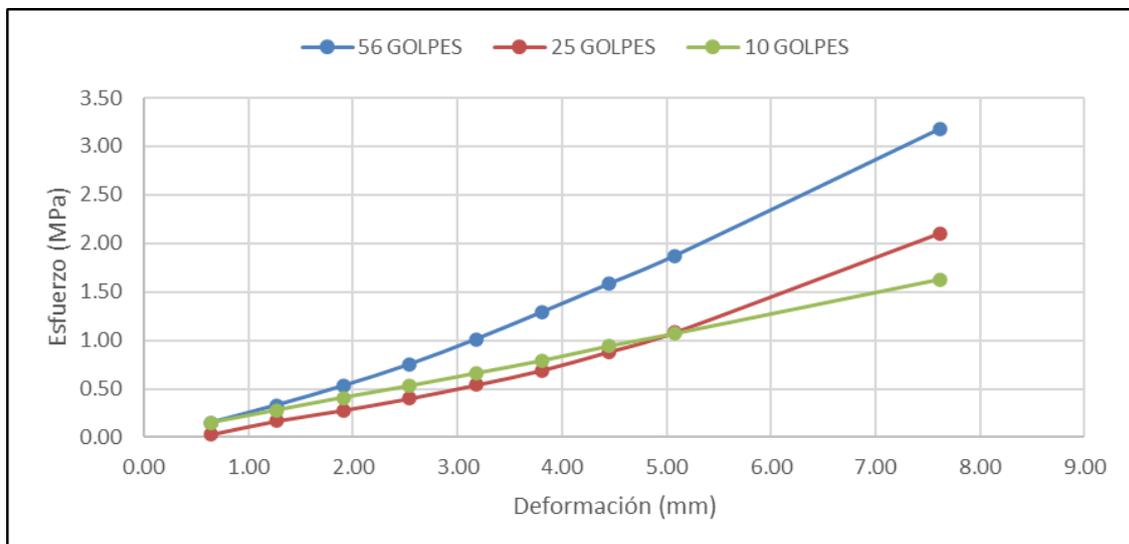


Figura #12: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Los Sauces muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #11 y figura #12, la línea que une los puntos de los resultados para esfuerzo y deformación no posee una concavidad pronunciada, de manera que, los valores obtenidos de la máquina de carga no serán corregidos por su no linealidad de acuerdo con la norma ASTM D1883.

En consecuencia, se procederá con la determinación de la relación de soporte californiana con la ayuda de los esfuerzos patrón de 6.90MPa y 10.35MPa, correspondientes a una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.69 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 10.0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{1.26 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 18.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.72 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 10.4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{2.23 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 21.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{3.29 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 31.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.60 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 15.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.75 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 10.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.40 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 5.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.53 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 7.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.87 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 18.1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.08 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 10.4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.07 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 10.3\% \end{aligned}$$

Una vez determinada la relación de soporte para cada energía de compactación, se procede a obtener un único valor que pueda ser relacionado con la capacidad del suelo a una deformación de 2.54mm y 5.08mm respecto de la muestra patrón. Para ello se procede a

determinar la densidad seca con los pesos de suelo compactado que se registraron antes de sumergir los moldes CBR para cada energía de compactación, y presentados en las tablas #8 y #9. De esta manera, se graficará la densidad seca en función de la relación de soporte californiana anteriormente calculada para determinar un único valor de % CBR, de acuerdo con, la densidad máxima seca del ensayo Proctor Estándar.

Tabla #8: Datos del ensayo de compactación para CBR [Los Sauces muestra #1]

<b>%w optimo</b>	7.75 %
<b>Peso de molde y base #1</b>	6115.2 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	6038.4 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	6087.2 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	10426.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	10323.6 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	10155.0 g

Tabla #9: Datos del ensayo de compactación para CBR [Los Sauces muestra #2]

<b>%w optimo</b>	7.5 %
<b>Peso de molde y base #1</b>	7081.8 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	7364.0 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7147.0 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11483.2 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	11683.2 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	11126.0 g

Con los valores de la tabla #8 y tabla #9 se debe calcular en primera instancia el peso del suelo compactado, haciendo la diferencia entre el peso del molde incluida la base y la muestra, menos el peso del molde incluida la base. Luego, se determina la densidad húmeda con la relación del peso del suelo compactado y el volumen del molde CBR de  $2124\text{cm}^3$ , es importante mencionar que el volumen del molde puede ir variando respecto a la incertidumbre presentada en la norma ASTM D1883. Por último, se calcula la densidad seca con la relación de la densidad húmeda y el contenido de humedad de la muestra, obteniendo los resultados presentados en la tabla #10 y tabla #11.

Tabla #10: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Los Sauces muestra #1]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4311.6 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4285.2 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	4067.8 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.77 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.76 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.67 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.65 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.64 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.55 g/cm <sup>3</sup>

Tabla #11: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Los Sauces muestra #2]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4401.4 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4319.2 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	3979.0 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.97 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.94 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.79 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.84 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.80 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.66 g/cm <sup>3</sup>

Con las densidades antes determinadas, se procede a tomar el valor de la densidad máxima seca del *Anexo S*, para cada una de las dos muestras de suelo. Este valor será utilizado para determinar un porcentaje único de las relaciones de soporte california calculadas para las diferentes energías de compactación. No obstante, únicamente se tomará el 95% de la densidad máxima seca para determinar un % CBR para las deformaciones de 2.54mm y 5.08mm (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003).

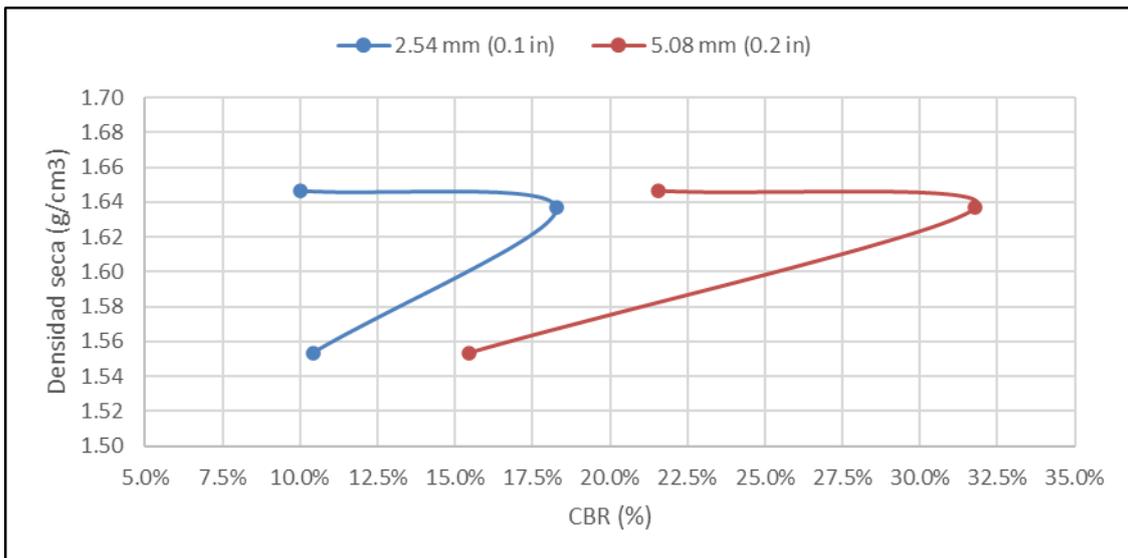


Figura #13: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiano [Los Sauces muestra #1]

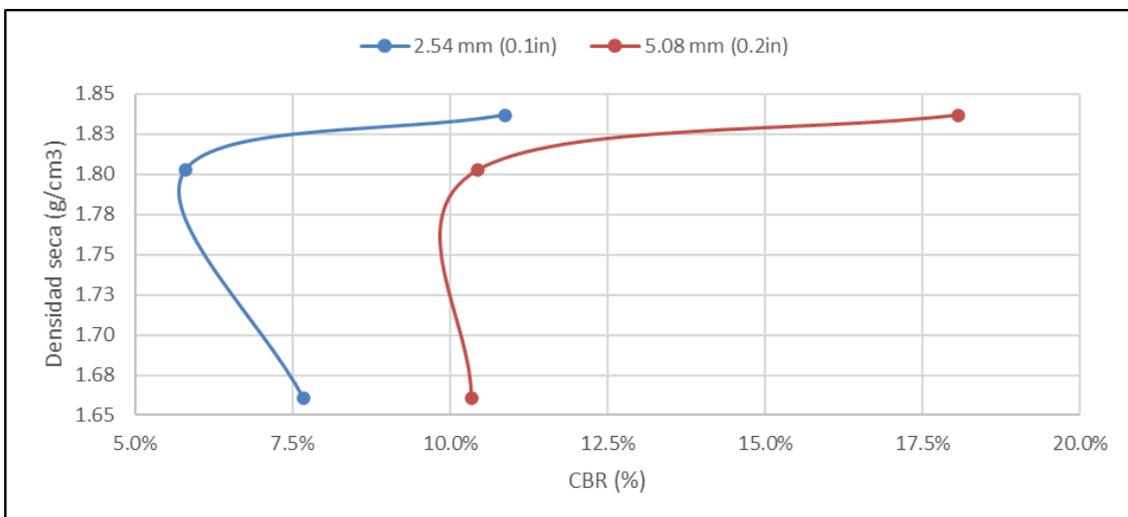


Figura #14: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiano [Los Sauces muestra #2]

Finalmente, con la ayuda de la figura #13 y figura #14 se determinó que para la muestra #1 la relación de soporte californiano es de 10.4% y 15.5% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente. Para el caso de la muestra #2 la relación de soporte californiano es el 7.4% y 10.5% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

### Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.

Con los valores de la hoja de datos expuesta en el *Anexo E* y *Anexo F* se procederá a realizar un gráfico de dispersión el cual relacionará los valores de la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados. De esta manera, con una línea de tendencia se procederá a correlacionar los valores, de tal forma que, la pendiente de la ecuación lineal será el número DCP expresado en mm/golpe.

Tabla #12: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Los Sauces muestra #1]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0.0
5	5	75.0
5	10	98.0
5	15	110.0
10	25	130.0
5	30	145.0
5	35	180.0
10	45	212.0
5	50	231.0
5	55	251.0
5	60	273.0
5	65	302.0

Tabla #12: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Los Sauces muestra #2]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0
5	5	98.0
5	10	129.0
5	15	190.0
10	25	295.0
5	30	330.0
5	35	355.0
10	45	415.0
5	50	450.0
5	55	495.0
5	60	546.0
5	65	564.0

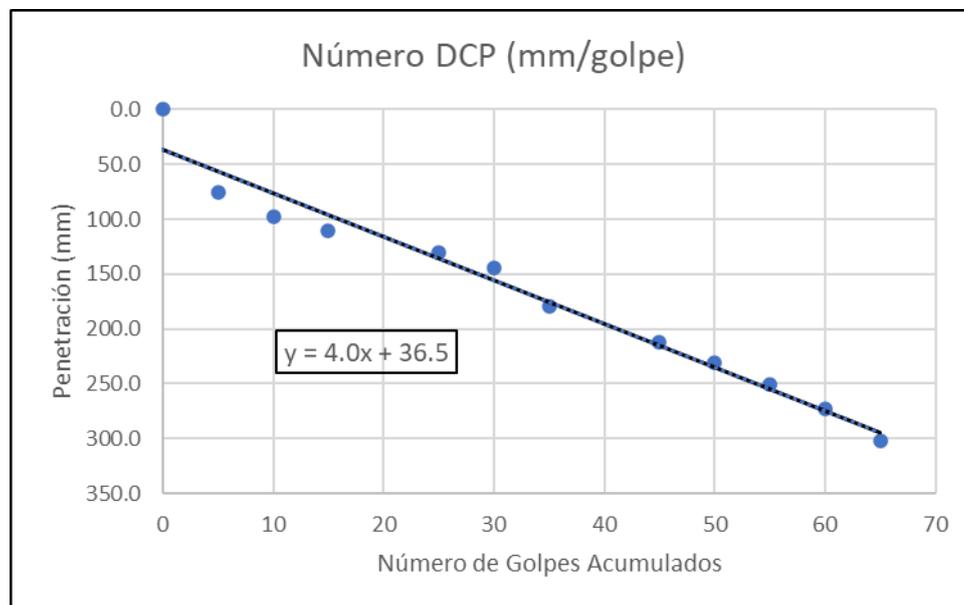


Figura #15: Gráfica para la determinación del número DCP [Los Sauces muestra #1]

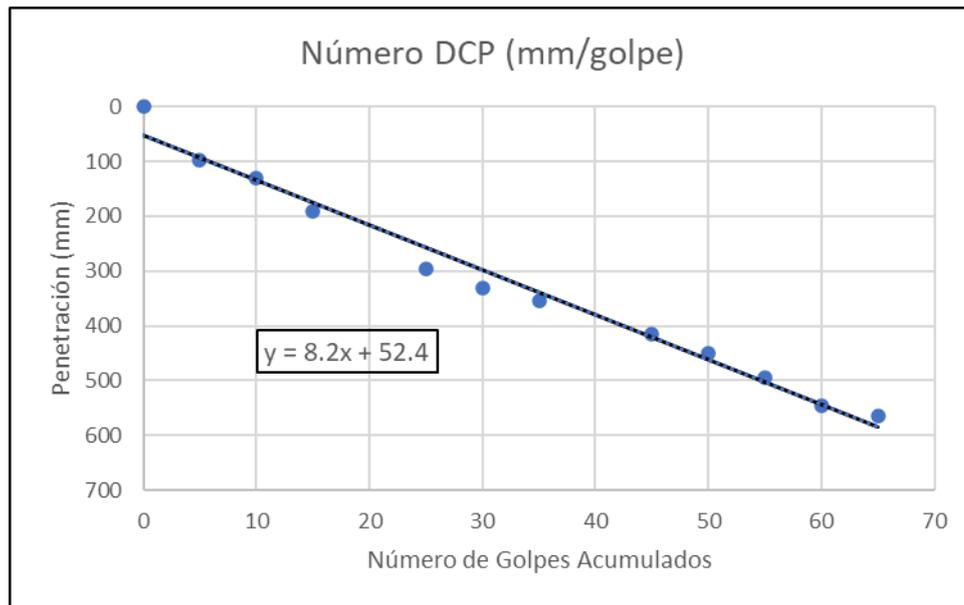


Figura #16: Gráfica para la determinación del número DCP [Los Sauces muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #15 y figura #16 las pendientes de la ecuación a línea de tendencia indicarán el valor del número DCP, en ese sentido, se evidencia que para la muestra #1 el número DCP es de 4.0 mm/golpe y para la muestra #2 el número DCP es 8.2 mm/golpe.

## Calle Santa Rosa

### Localización.



Figura #17: Ubicación satelital de la calle Santa Rosa. Recuperado de

<https://www.google.com.ec/maps>

### **Tamizado en peso de las muestras representativas.**

Una vez tamizada las muestras a través de los tamices estándar, se registra el peso del material retenido de los tamices, con ello, se caracteriza porcentualmente el peso retenido parcial, retenido acumulado y peso del material pasante. Con los resultados obtenidos del material pasante para cada una de las aberturas de los tamices, se ha realizado una curva granulométrica representada en el *Anexo T*. A partir de esta curva granulométrica podemos determinar gráficamente el diámetro de las partículas que en mayor parte está presente en la muestra representativa, no obstante, los diámetros de partículas más relevantes para la clasificación de suelos son los que comprenden el 60, 30 y 10% del total de la muestra. Por tanto, al determinar gráficamente los valores del diámetro de las partículas se obtiene que 2.0mm, 0.62mm, 0.45mm y 1.8mm, 0.9mm y 0.5mm corresponden al 60, 30 y 10% de la muestra #1 y muestra #2, respectivamente.

### **Determinación del límite líquido.**

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, el límite líquido corresponde al porcentaje de humedad en el que el suelo cambia de estado plástico a líquido. Por consiguiente, con el respaldo de los cálculos mostrados en el *Anexo U* se procedió a determinar el límite líquido del suelo graficando una línea de tendencia entre el contenido de humedad y su respectivo número de golpes, con esta línea de tendencia se estableció una ecuación con la que se determinará analíticamente el contenido de humedad para 25 golpes de la Copa Casagrande, dando como resultado que con un 29.0% de contenido de humedad, se consigue llegar al límite líquido de la muestra #1, para el caso de la muestra #2 indica que con un 24.0% de contenido de humedad el suelo de la calle Santa Rosa cambia de estado plástico a líquido.

### **Determinación del límite plástico.**

De la misma forma que con el límite líquido, se han recolectado los datos correspondientes para la determinación del límite plástico del suelo, que de acuerdo con la teoría corresponde al contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico. Con los contenidos de humedad expuestos en el *Anexo V* se realizó un promedio para determinar el límite plástico, en consecuencia, el valor corresponde al 24.4% de contenido de humedad para que la muestra #1, para el caso de la muestra #2 se indica que el valor corresponde al 20.8% de contenido de humedad para que el suelo alcance el límite plástico.

### **Determinación del Índice de plasticidad.**

En este punto se determina el índice de plasticidad para las dos muestras de suelo de la calle Santa Rosa, la cual nos servirá para determinar el símbolo de grupo correspondiente para la clasificación de suelos.

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = 29.0\% - 24.4\% = 4.6\%$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = 24.0\% - 20.8\% = 3.2\%$$

### **Clasificación del suelo.**

Una vez determinada la granulometría de la muestra de suelo y la naturaleza de su porción cohesiva con los Límites de Atterberg, se procede con la clasificación de la muestra de suelo.

En primera instancia se debe analizar el porcentaje pasante del tamiz No.200, puesto que, el suelo tiene aproximadamente el 0% del porcentaje pasante por dicho tamiz, el suelo se trata de un suelo grueso para ambas muestras. Luego, se analiza el porcentaje pasante del

tamiz No.4, el cual es el 75% para la muestra #1 y el 81% para la muestra #2 indicando que el tipo de suelo grueso es una arena y no una grava.

En este punto, la figura #6 junto con la figura #4 serán de utilidad para posicionar al suelo con un símbolo de grupo. En ese sentido, se pudo determinar que la tipología del suelo corresponde a un *SP*, es decir, *Sand poorly graded o una Arena mal graduada*. De esta forma, con la carta de plasticidad se tomaron los valores del límite líquido y el índice de plasticidad para determinar que partículas finas se encuentran inmiscuidas en la muestra representativa, dando como resultado una presencia significativa de *Limos inorgánicos de baja plasticidad*.

Por último, se debe agregar un símbolo de grupo al suelo de ser necesario, para ello, la figura #5 indica que para suelo arenoso se debe determinar si el porcentaje de grava es superior o inferior al 15%, para este caso particular de suelo, ambas muestras poseen más del 15% de partículas gravosas. En consecuencia, como la carta de plasticidad puso en evidencia la presencia de partículas limosas y no arcillosas, el suelo será clasificado con un SP-SM que corresponde a una *Arena mal graduada con limo y grava*. La simbología doble obedece a la afirmación de que “Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a las condiciones de frontera” (Juárez Badillo & Rodríguez, 2005, p.154).

#### **Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.**

Conforme a los datos expuestos en el *Anexo W*, se puede evidenciar el proceso a seguir para determinar la densidad seca de la muestra de suelo para cada molde a diferentes contenidos de humedad. Estas densidades se graficaron juntamente con su correspondiente contenido de humedad, de esta manera, el contenido de humedad óptimo que obedece a la densidad máxima seca es de 5.00% para la muestra #1 y 4.75% para la muestra #2.

### **Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.**

Una vez realizados los trabajos de laboratorio se procedió con el ensayo de soporte californiano detallado en la metodología para tres moldes a diferentes energías de compactación. Debido a que, la máquina de carga proporciona resultados para cada 0.001mm de deformación, se tendrán muchos valores de la carga aplicada hasta alcanzar la deformación de 5.08mm requerida. En ese sentido, se ha respetado los valores de deformación sugeridos por la norma ASTM D1883 para realizar la gráfica del esfuerzo en función de la deformación.

Tabla #13: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Santa Rosa muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.09	0.64
0.15	1.27
0.22	1.91
0.29	2.54
0.37	3.18
0.45	3.81
0.54	4.45
0.64	5.08

Tabla #14: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Santa Rosa muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.16	0.64
0.49	1.27
1.03	1.91
1.68	2.54
2.42	3.18
3.13	3.81
3.87	4.45
4.59	5.08

Tabla #15: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Santa Rosa muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.11	0.64
0.19	1.27
0.30	1.91
0.40	2.54
0.51	3.18
0.62	3.81
0.74	4.45
0.86	5.08

Tabla #16: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Santa Rosa muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.12	0.64
0.31	1.27
0.59	1.91
0.99	2.54
1.47	3.18
1.97	3.81
2.42	4.45
2.82	5.08

Tabla #17: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Santa Rosa muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.21	0.64
0.43	1.27
0.90	1.91
0.69	2.54
1.20	3.18
1.46	3.81
1.71	4.45
1.98	5.08

Tabla #18: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Santa Rosa muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.11	0.64
0.21	1.27
0.30	1.91
0.36	2.54
0.44	3.18
0.50	3.81
0.57	4.45
0.63	5.08

En las tablas anteriores se puede evidenciar los datos obtenidos correspondientes al esfuerzo y a la deformación registrada por la máquina de carga y el deformímetro, por consiguiente, se procederá a graficar estos resultados para las diferentes energías de compactación en conjunto, para cada muestra.

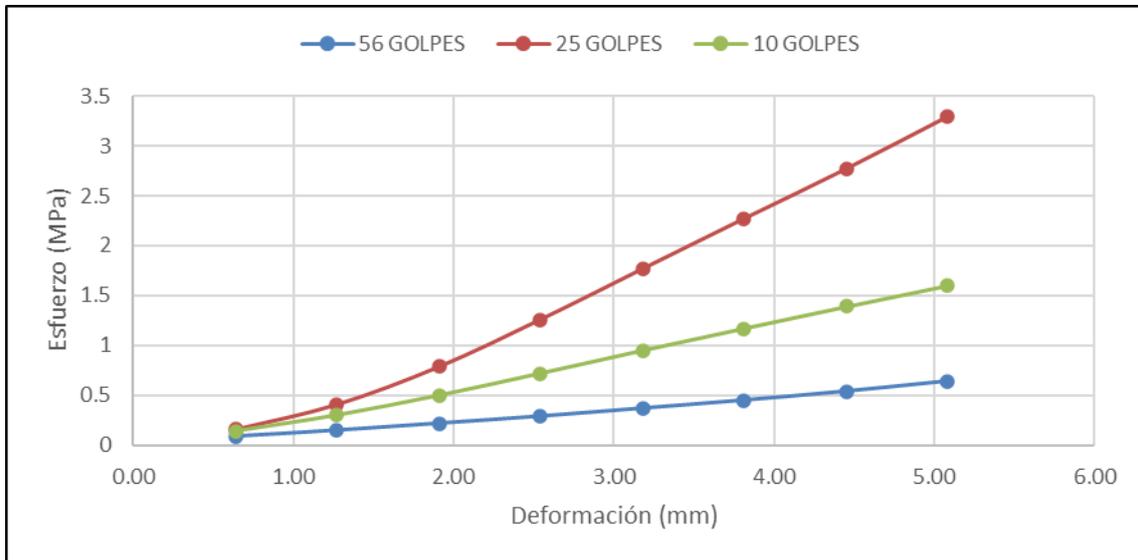


Figura #18: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Santa Rosa muestra #1]

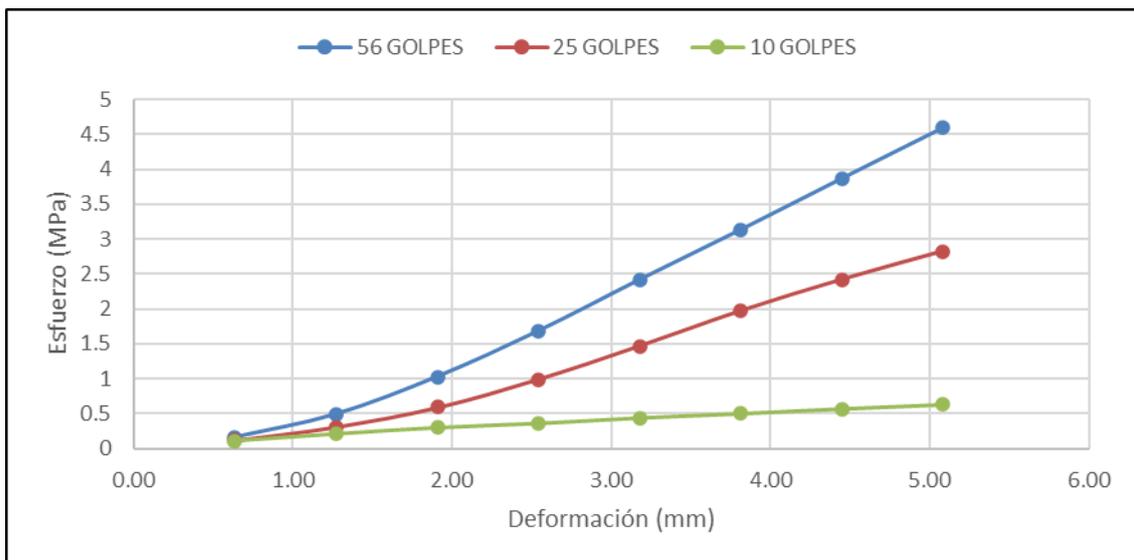


Figura #19: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Santa Rosa muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #18 y figura #19, la línea que une los puntos de los resultados para esfuerzo y deformación no posee una concavidad pronunciada, de manera

que, los valores obtenidos de la máquina de carga no serán corregidos por su no linealidad de acuerdo con la norma ASTM D1883.

En consecuencia, se procederá con la determinación de la relación de soporte californiana con la ayuda de los esfuerzos patrón de 6.90MPa y 10.35MPa, correspondientes a una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.29 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 4.2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.40 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 5.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.69 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 10.0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.64 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 6.2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.86 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 8.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.98 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 19.1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{1.68 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 24.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.99 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 14.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.36 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 5.2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{4.59 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 44.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{2.82 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 27.2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.63 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 6.1\% \end{aligned}$$

Una vez determinada la relación de soporte para cada energía de compactación, se procede a obtener un único valor que pueda ser relacionado con la capacidad del suelo a una deformación de 2.54mm y 5.08mm respecto de la muestra patrón. Para ello se procede a determinar la densidad seca con los pesos de suelo compactado que se registraron antes de sumergir los moldes CBR para cada energía de compactación, y presentados en las tablas #19 y #20. De esta manera, se graficará la densidad seca en función de la relación de soporte californiana anteriormente calculada para determinar un único valor de % CBR, de acuerdo con, la densidad máxima seca del ensayo Proctor Estándar.

Tabla #19: Datos del ensayo de compactación para CBR [Santa Rosa muestra #1]

<b>%w optimo</b>	5
<b>Peso de molde y base #1</b>	7052.6 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	7180.2 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7371.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	12797.2 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	12521.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	12795.8 g

Tabla #20: Datos del ensayo de compactación para CBR [Santa Rosa muestra #2]

<b>%w optimo</b>	4.75
<b>Peso de molde y base #1</b>	7052.6 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	7059.2 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7371.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11742.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	11387.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	11448.4 g

Con los valores de la tabla #19 y tabla #20 se debe calcular en primera instancia el peso del suelo compactado, haciendo la diferencia entre el peso del molde incluida la base y la muestra, menos el peso del molde incluida la base. Luego, se determina la densidad húmeda con la relación del peso del suelo compactado y el volumen del molde CBR de 2124cm<sup>3</sup>, es importante mencionar que el volumen del molde puede ir variando respecto a la incertidumbre presentada en la norma ASTM D1883. Por último, se calcula la densidad seca

con la relación de la densidad húmeda y el contenido de humedad de la muestra, obteniendo los resultados presentados en la tabla #21 y tabla #22.

Tabla #21: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Santa Rosa muestra #1]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	5744.6 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	5341.6 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	5424.4 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.85 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.72 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.74 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.76 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.64 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.66 g/cm <sup>3</sup>

Tabla #22: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Santa Rosa muestra #2]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4690.2 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4328.6 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	4077.0 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.92 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.77 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.67 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.83 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.69 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.59 g/cm <sup>3</sup>

Con las densidades antes determinadas, se procede a tomar el valor de la densidad máxima seca del *Anexo W*, para cada una de las dos muestras de suelo. Este valor será utilizado para determinar un porcentaje único de las relaciones de soporte california calculadas para las diferentes energías de compactación. No obstante, únicamente se tomará el 95% de la densidad máxima seca para determinar un % CBR para las deformaciones de 2.54mm y 5.08mm (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003).

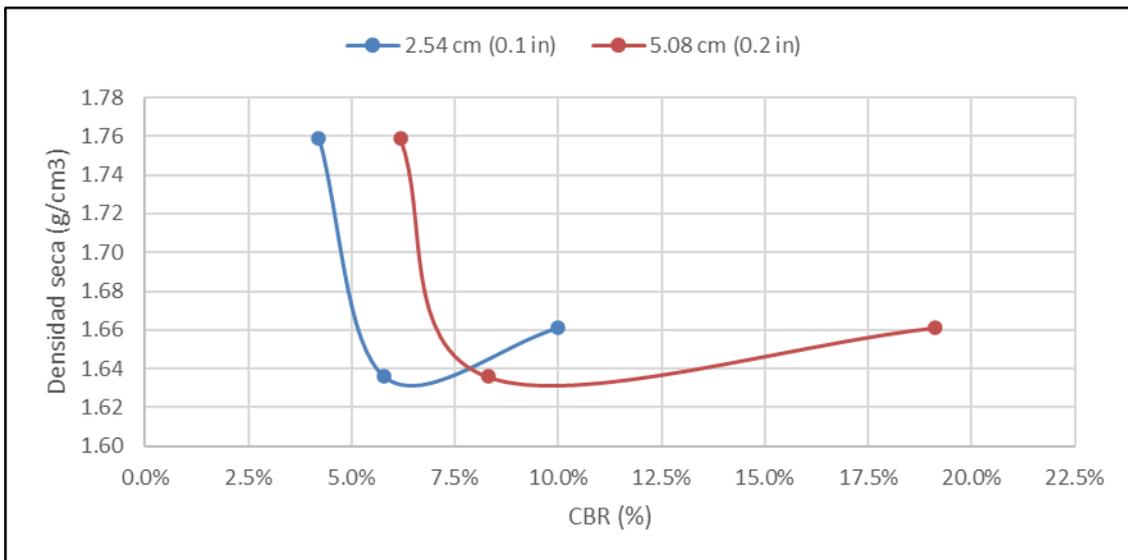


Figura #20: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [Santa Rosa muestra #1]

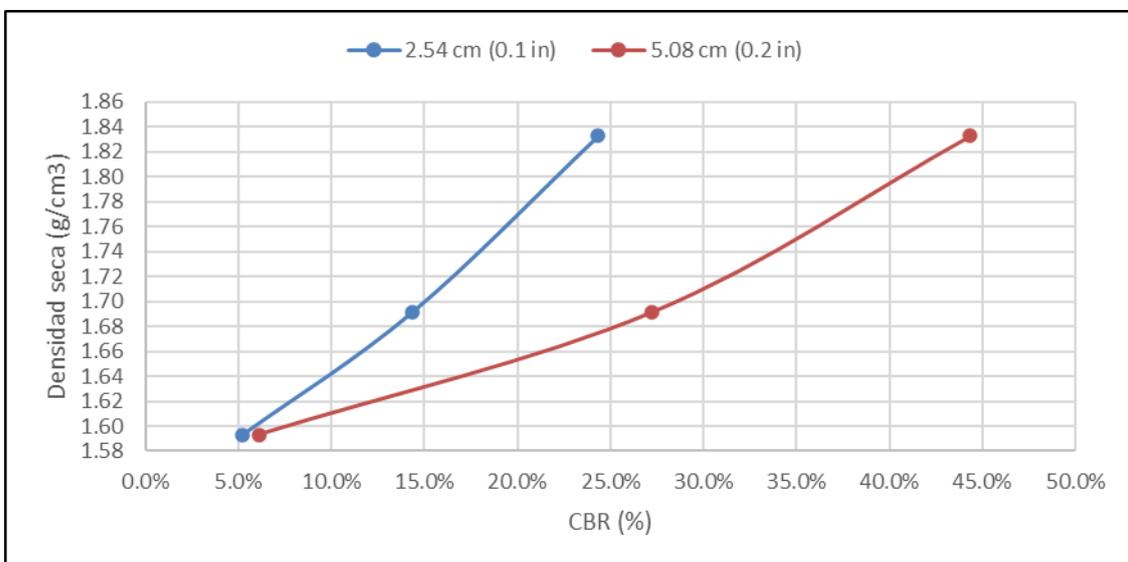


Figura #21: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [Santa Rosa muestra #2]

Finalmente, con la ayuda de la figura #20 y figura #21 se determinó que para la muestra #1 la relación de soporte californiana es de 10.0% y 19.1% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente. Para el caso de la muestra #2 la relación de soporte californiana es el 12.5% y 22.5% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

### Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.

Con los valores de la hoja de datos expuesta en el *Anexo A* y *Anexo B* se procederá a realizar un gráfico de dispersión el cual relacionará los valores de la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados. De esta manera, con una línea de tendencia se procederá a correlacionar los valores, de tal forma que, la pendiente de la ecuación lineal será el número DCP expresado en mm/golpe.

Tabla #23: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Santa Rosa muestra #1]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0.0
5	5	55.0
5	10	59.0
5	15	68.0
10	25	85.0
5	30	90.0
5	35	95.0
10	45	125.0
5	50	128.0
5	55	132.0
5	60	136.0
5	65	140.0

Tabla #24: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Santa Rosa muestra #2]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0
5	5	92.0
5	10	152.0
5	15	190.0
10	25	260.0
5	30	263.0
5	35	322.0
10	45	380.0
5	50	456.0
5	55	503.0
5	60	515.0
5	65	525.0

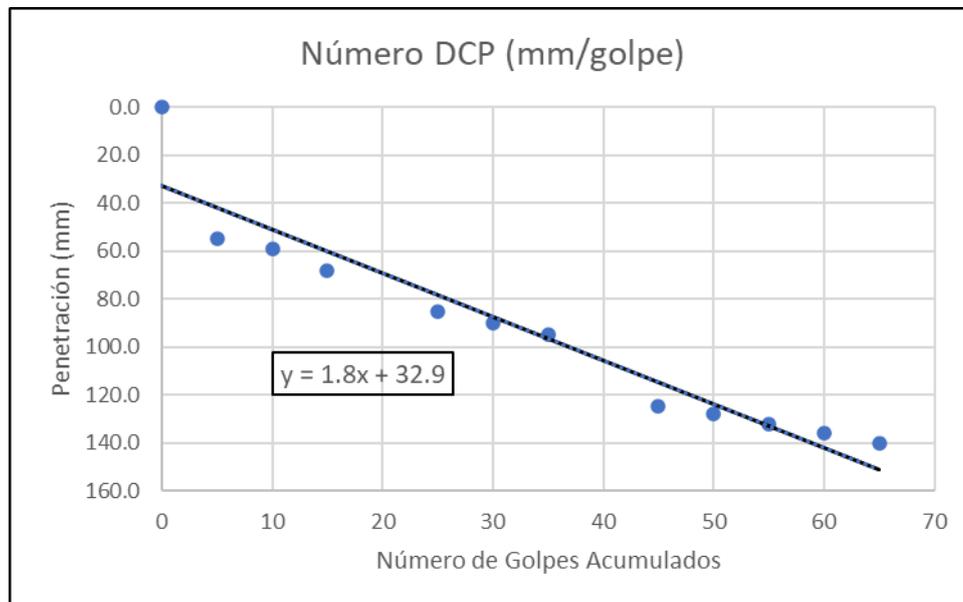


Figura #22: Gráfica para la determinación del número DCP [Santa Rosa muestra #1]

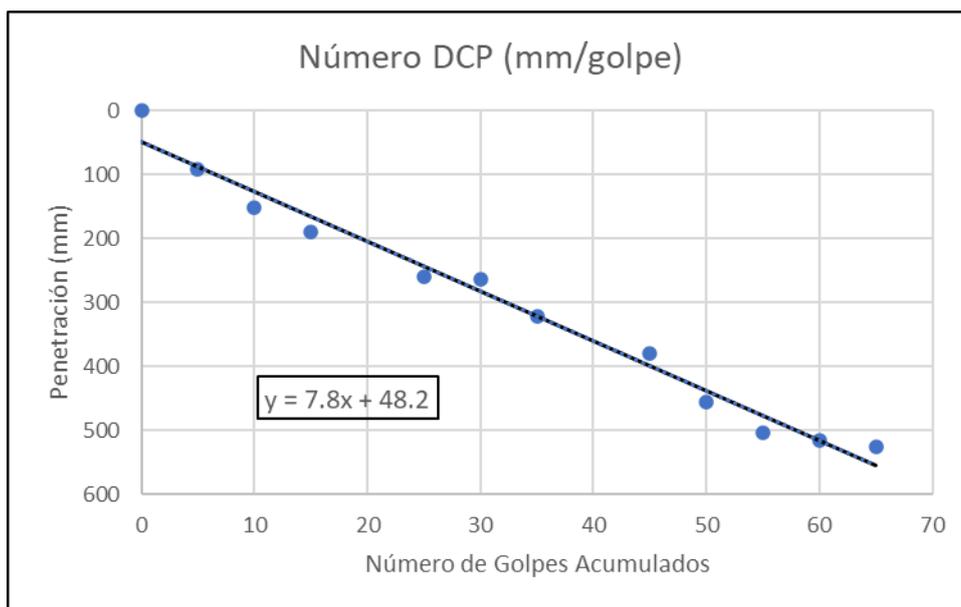


Figura #23: Gráfica para la determinación del número DCP [Santa Rosa muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #22 y figura #23 las pendientes de la ecuación a línea de tendencia indicarán el valor del número DCP, en ese sentido, se evidencia que para la muestra #1 el número DCP es de 1.8 mm/golpe y para la muestra #2 el número DCP es 7.8 mm/golpe.

## Calle Santo Domingo de Sevilla

### Localización.



Figura #24: Ubicación satelital calle Santo Domingo de Sevilla. Recuperado de

<https://www.google.com.ec/maps>

### **Tamizado en peso de la muestra representativa.**

Una vez tamizada las muestras a través de los tamices estándar, se registra el peso del material retenido de los tamices, con ello, se caracteriza porcentualmente el peso retenido parcial, retenido acumulado y peso del material pasante. Con los resultados obtenidos del material pasante para cada una de las aberturas de los tamices, se ha realizado una curva granulométrica representada en el *Anexo X*. A partir de esta curva granulométrica podemos determinar gráficamente el diámetro de las partículas que en mayor parte está presente en la muestra representativa, no obstante, los diámetros de partículas más relevantes para la clasificación de suelos son los que comprenden el 60, 30 y 10% del total de la muestra. Por tanto, al determinar gráficamente los valores del diámetro de las partículas se obtiene que 0.7mm, 0.38mm, 0.25mm y 1.8mm, 0.75mm y 0.5mm corresponden al 60, 30 y 10% de la muestra #1 y muestra #2, respectivamente.

### **Determinación del límite líquido.**

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, el límite líquido corresponde al porcentaje de humedad en el que el suelo cambia de estado plástico a líquido. Por consiguiente, con el respaldo de los cálculos mostrados en el *Anexo Y* se procedió a determinar el límite líquido del suelo graficando una línea de tendencia entre el contenido de humedad y su respectivo número de golpes, con esta línea de tendencia se estableció una ecuación con la que se determinará analíticamente el contenido de humedad para 25 golpes de la Copa Casagrande, dando como resultado que con un 26.4% de contenido de humedad, se consigue llegar al límite líquido de la muestra #1, para el caso de la muestra #2 indica que con un 21.7% de contenido de humedad el suelo de la calle Santo Domingo de Sevilla cambia de estado plástico a líquido.

### **Determinación del límite plástico.**

De la misma forma que con el límite líquido, se han recolectado los datos correspondientes para la determinación del límite plástico del suelo, que de acuerdo con la teoría corresponde al contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico. Con los contenidos de humedad expuestos en el *Anexo Z* se realizó un promedio para determinar el límite plástico, en consecuencia, el valor corresponde al 25.7% de contenido de humedad para que la muestra #1, para el caso de la muestra #2 se indica que el valor corresponde al 21.5% de contenido de humedad para que el suelo alcance el límite plástico.

### **Determinación del Índice de plasticidad.**

En este punto se determina el índice de plasticidad para las dos muestras de suelo de la calle Santo Domingo de Sevilla, la cual nos servirá para determinar el símbolo de grupo correspondiente para la clasificación de suelos.

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = 26.4\% - 25.7\% = 0.7\%$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = 21.7\% - 21.5\% = 0.2\%$$

### **Clasificación del suelo.**

Una vez determinada la granulometría de la muestra de suelo y la naturaleza de su porción cohesiva con los Límites de Atterberg, se procede con la clasificación de la muestra de suelo.

En primera instancia se debe analizar el porcentaje pasante del tamiz No.200, puesto que, el suelo tiene aproximadamente el 0% del porcentaje pasante por dicho tamiz, el suelo se trata de un suelo grueso para ambas muestras. Luego, se analiza el porcentaje pasante del tamiz No.4, el cual es el 86% para la muestra #1 y el 82% para la muestra #2 indicando que el tipo de suelo grueso es una arena y no una grava.

En este punto, la figura #6 junto con la figura #4 serán de utilidad para posicionar al suelo con un símbolo de grupo. En ese sentido, se pudo determinar que la tipología del suelo corresponde a un *SP*, es decir, *Sand poorly graded o una Arena mal graduada*. De esta forma, con la carta de plasticidad se tomaron los valores del límite líquido y el índice de plasticidad para determinar que partículas finas se encuentran inmiscuidas en la muestra representativa, dando como resultado una presencia significativa de *Limos inorgánicos de baja plasticidad*.

Por último, se debe agregar un símbolo de grupo al suelo de ser necesario, para ello, la figura #5 indica que para suelo arenoso se debe determinar si el porcentaje de grava es superior o inferior al 15%, para este caso particular de suelo, ambas muestras poseen más del 15% de partículas gravosas. En consecuencia, como la carta de plasticidad puso en evidencia la presencia de partículas limosas y no arcillosas, el suelo será clasificado con un SP-SM que corresponde a una *Arena mal graduada con limo y grava*. La simbología doble obedece a la afirmación de que “Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a las condiciones de frontera” (Juárez Badillo & Rodríguez, 2005, p.154).

#### **Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.**

Conforme a los datos expuestos en el *Anexo AA*, se puede evidenciar el proceso a seguir para determinar la densidad seca de la muestra de suelo para cada molde a diferentes contenidos

de humedad. Estas densidades se graficaron juntamente con su correspondiente contenido de humedad, de esta manera, el contenido de humedad óptimo que obedece a la densidad máxima seca es de 10.50% para la muestra #1 y 4.75% para la muestra #2.

### **Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.**

Una vez realizados los trabajos de laboratorio se procedió con el ensayo de soporte californiano detallado en la metodología para tres moldes a diferentes energías de compactación. Debido a que, la máquina de carga proporciona resultados para cada 0.001mm de deformación, se tendrán muchos valores de la carga aplicada hasta alcanzar la deformación de 5.08mm requerida. En ese sentido, se ha respetado los valores de deformación sugeridos por la norma ASTM D1883 para realizar la gráfica del esfuerzo en función de la deformación.

Tabla #25: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Santo Domingo de Sevilla muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.05	0.64
0.08	1.27
0.11	1.91
0.14	2.54
0.17	3.18
0.20	3.81
0.23	4.45
0.27	5.08

Tabla #26: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Santo Domingo de Sevilla muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.49	0.64
1.36	1.27
2.43	1.91
3.44	2.54
4.34	3.18
5.15	3.81
5.83	4.45
6.37	5.08

Tabla #27: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Santo Domingo de Sevilla  
muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.06	0.64
0.10	1.27
0.14	1.91
0.18	2.54
0.23	3.18
0.28	3.81
0.33	4.45
0.38	5.08

Tabla #28: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Santo Domingo de Sevilla  
muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.19	0.64
0.41	1.27
0.65	1.91
0.88	2.54
1.12	3.18
1.31	3.81
1.52	4.45
1.69	5.08

Tabla #29: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Santo Domingo de Sevilla  
muestra #1]

Esfuerzo (MPa)	Def (mm)
0.07	0.64
0.11	1.27
0.15	1.91
0.21	2.54
0.26	3.18
0.33	3.81
0.39	4.45
0.45	5.08

Tabla #30: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Santo Domingo de Sevilla muestra #2]

Esfuerzo (MPa)	Def (mm)
0.14	0.64
0.23	1.27
0.32	1.91
0.38	2.54
0.45	3.18
0.51	3.81
0.57	4.45
0.62	5.08

En las tablas anteriores se puede evidenciar los datos obtenidos correspondientes al esfuerzo y a la deformación registrada por la máquina de carga y el deformímetro, por consiguiente, se procederá a graficar estos resultados para las diferentes energías de compactación en conjunto, para cada muestra.

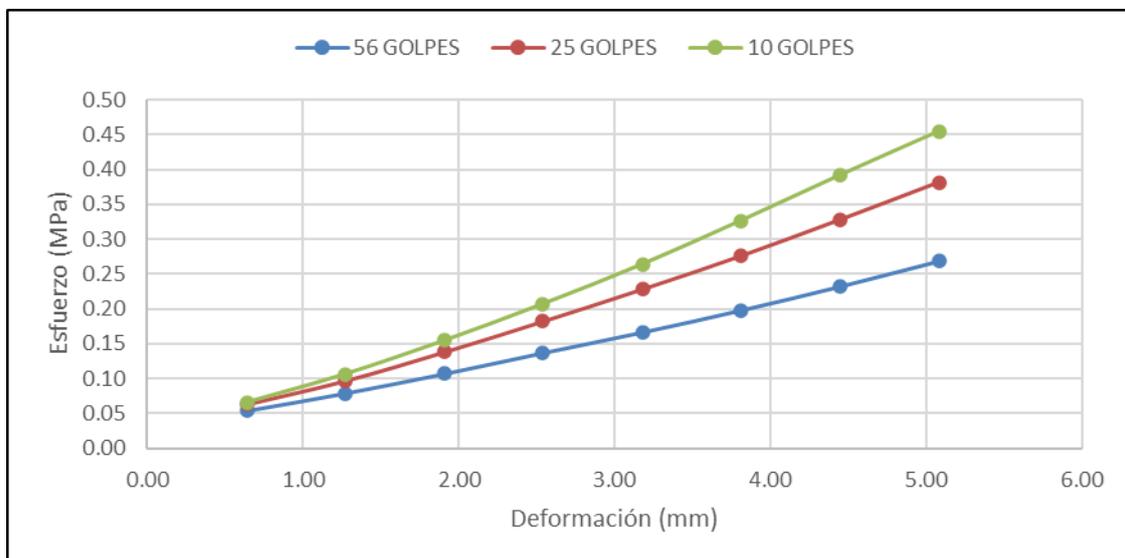


Figura #25: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Santo Domingo de Sevilla muestra #1]

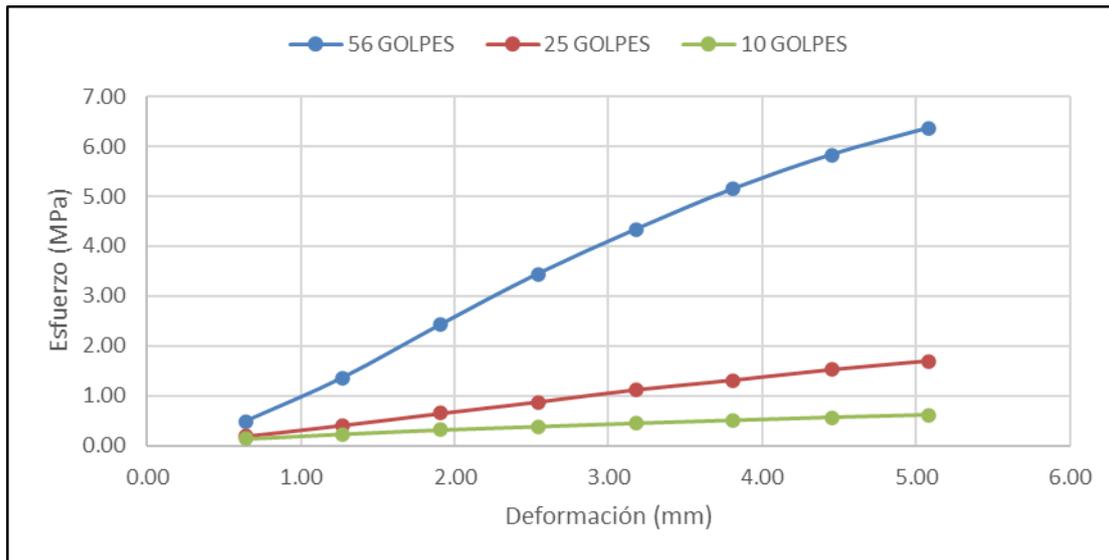


Figura #26: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Santo Domingo de Sevilla muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #25 y figura #26, la línea que une los puntos de los resultados para esfuerzo y deformación no posee una concavidad pronunciada, de manera que, los valores obtenidos de la máquina de carga no serán corregidos por su no linealidad de acuerdo con la norma ASTM D1883.

En consecuencia, se procederá con la determinación de la relación de soporte californiana con la ayuda de los esfuerzos patrón de 6.90MPa y 10.35MPa, correspondientes a una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

$$\%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]}} = \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100$$

$$= \frac{0.14 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 2.0\%$$

$$\%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]}} = \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100$$

$$= \frac{0.18 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 2.6\%$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.21 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 3.0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.27 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 2.6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.38 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 3.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.45 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 4.4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{3.44 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 49.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.88 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 12.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.38 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 5.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{6.37 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 61.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.69 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 16.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.62 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 5.9\% \end{aligned}$$

Una vez determinada la relación de soporte para cada energía de compactación, se procede a obtener un único valor que pueda ser relacionado con la capacidad del suelo a una deformación de 2.54mm y 5.08mm respecto de la muestra patrón. Para ello se procede a determinar la densidad seca con los pesos de suelo compactado que se registraron antes de sumergir los moldes CBR para cada energía de compactación, y presentados en las tablas #31 y #32. De esta manera, se graficará la densidad seca en función de la relación de soporte californiana anteriormente calculada para determinar un único valor de % CBR, de acuerdo con, la densidad máxima seca del ensayo Proctor Estándar.

Tabla #31: Datos del ensayo de compactación para CBR [Santo Domingo de Sevilla  
muestra #1]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	10.5
<b>Peso de molde y base #1</b>	6961.2 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	6952.0 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7043.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11150.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	10856.0 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	10687.8 g

Tabla #32: Datos del ensayo de compactación para CBR [Santo Domingo de Sevilla muestra #2]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	4.75
<b>Peso de molde y base #1</b>	6117.4 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	6036.8 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	6088.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	10522.6 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	10209.6 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	10031.8 g

Con los valores de la tabla #31 y tabla #32 se debe calcular en primera instancia el peso del suelo compactado, haciendo la diferencia entre el peso del molde incluida la base y la muestra, menos el peso del molde incluida la base. Luego, se determina la densidad húmeda con la relación del peso del suelo compactado y el volumen del molde CBR de  $2124\text{cm}^3$ , es importante mencionar que el volumen del molde puede ir variando respecto a la incertidumbre presentada en la norma ASTM D1883. Por último, se calcula la densidad seca con la relación de la densidad húmeda y el contenido de humedad de la muestra, obteniendo los resultados presentados en la tabla #33 y tabla #34.

Tabla #33: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Santo Domingo de Sevilla muestra #1]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4189.2 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	3904.0 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	3644.0 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.97 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.84 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.72 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.78 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.66 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.55 g/cm <sup>3</sup>

Tabla #34: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Santo Domingo de Sevilla muestra #2]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4405.2 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4172.8 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	3943.0 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	2.07 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.96 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.85 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.98 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.88 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.76 g/cm <sup>3</sup>

Con las densidades antes determinadas, se procede a tomar el valor de la densidad máxima seca del *Anexo AA*, para cada una de las dos muestras de suelo. Este valor será utilizado para determinar un porcentaje único de las relaciones de soporte califonia calculadas para las diferentes energías de compactación. No obstante, únicamente se tomará el 95% de la densidad máxima seca para determinar un % CBR para las deformaciones de 2.54mm y 5.08mm (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003).

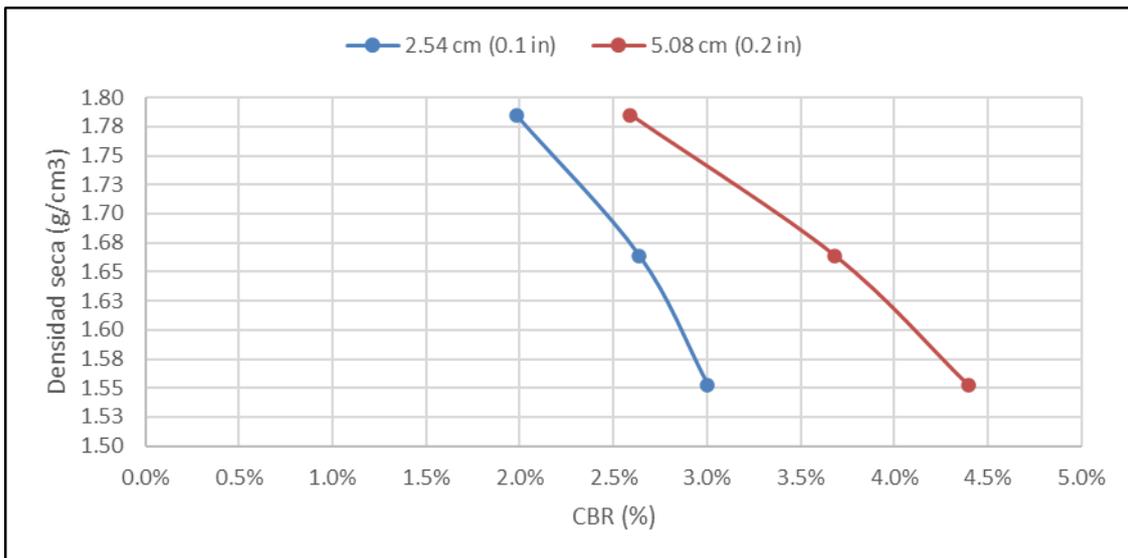


Figura #27: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiano [Santo Domingo de Sevilla muestra #1]

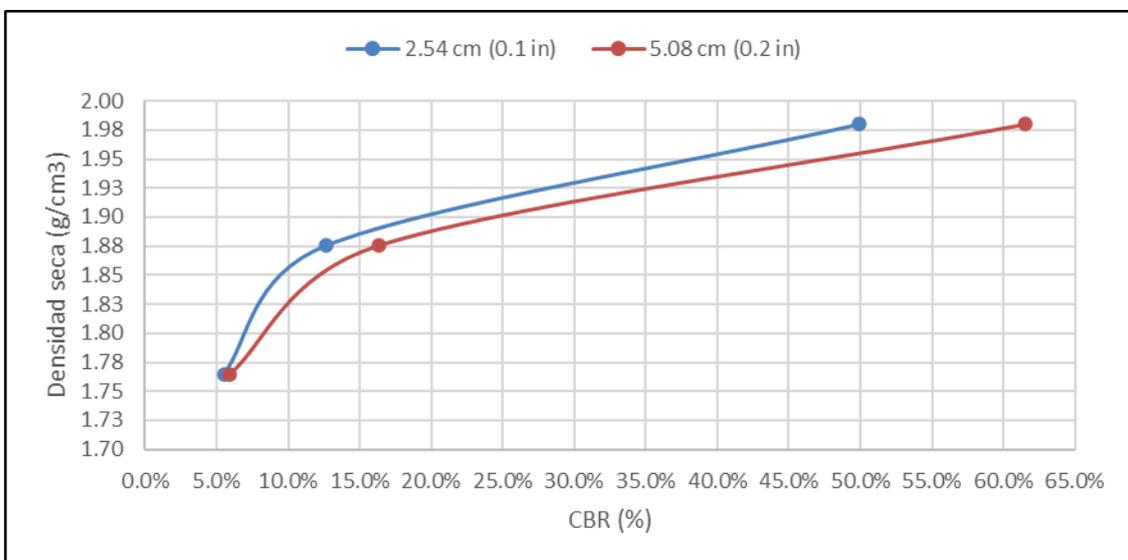


Figura #28: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiano [Santo Domingo de Sevilla muestra #2]

Finalmente, con la ayuda de la figura #27 y figura #28 se determinó que para la muestra #1 la relación de soporte californiano es de 2.8% y 3.8% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente. Para el caso de la muestra #2 la relación de soporte californiano es el 5.5% y 5.9% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

### Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.

Con los valores de la hoja de datos expuesta en el *Anexo G* y *Anexo H* se procederá a realizar un gráfico de dispersión el cual relacionará los valores de la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados. De esta manera, con una línea de tendencia se procederá a correlacionar los valores, de tal forma que, la pendiente de la ecuación lineal será el número DCP expresado en mm/golpe.

Tabla #35: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Santo Domingo de Sevilla muestra #1]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0.0
5	5	69.0
5	10	128.0
5	15	148.0
10	25	179.0
5	30	192.0
5	35	201.0
10	45	205.0
5	50	208.0
5	55	302.0
5	60	305.0
5	65	311.0

Tabla #36: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Santo Domingo de Sevilla muestra #2]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0
5	5	50.0
5	10	85.0
5	15	124.0
10	25	289.0
5	30	363.0
5	35	423.0
10	45	602.0
5	50	738.0
5	55	823.0
5	60	902.0
5	65	905.0

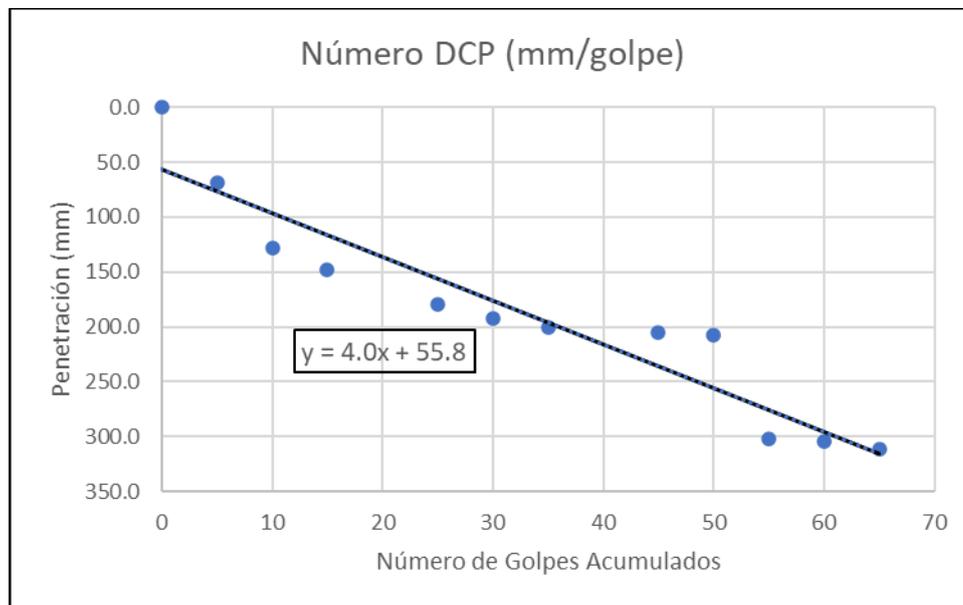


Figura #29: Gráfica para la determinación del número DCP [Santo Domingo de Sevilla muestra #1]

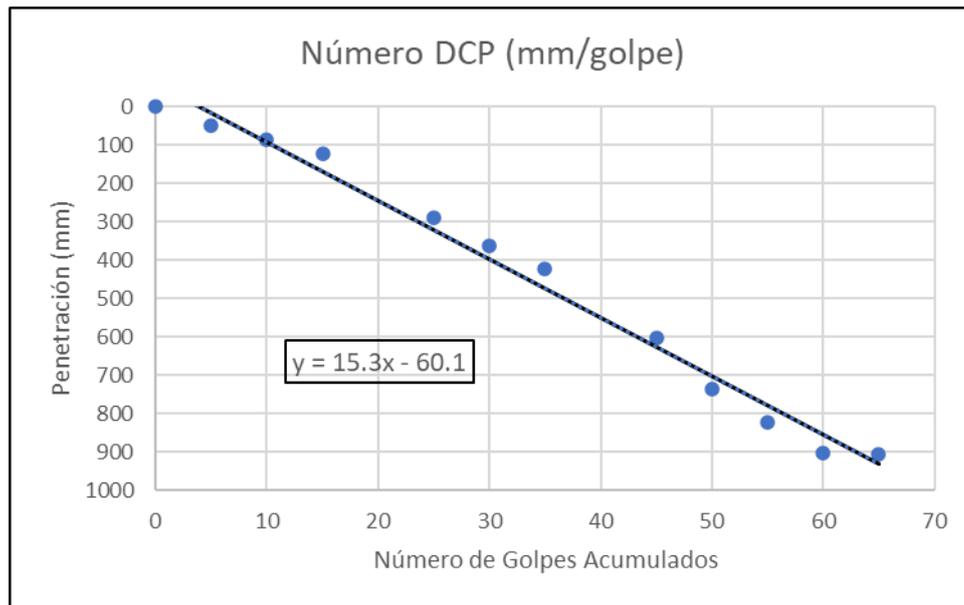


Figura #30: Gráfica para la determinación del número DCP [Santo Domingo de Sevilla muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #29 y figura #30 las pendientes de la ecuación a línea de tendencia indicarán el valor del número DCP, en ese sentido, se evidencia que para la muestra #1 el número DCP es de 4.0 mm/golpe y para la muestra #2 el número DCP es 15.3 mm/golpe.

## Calle 15 de Junio

### Localización.

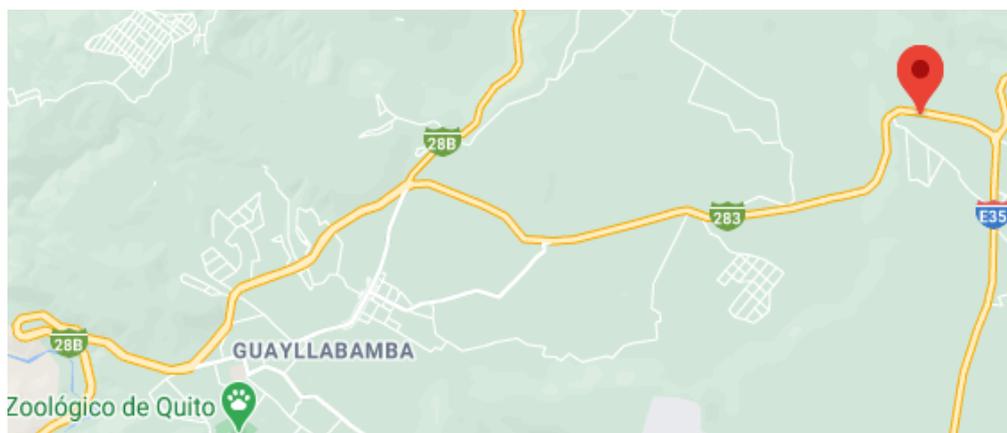


Figura #31: Ubicación satelital calle 15 de junio. Recuperado de

<https://www.google.com.ec/maps>

### **Tamizado en peso de la muestra representativa.**

Una vez tamizada las muestras a través de los tamices estándar, se registra el peso del material retenido de los tamices, con ello, se caracteriza porcentualmente el peso retenido parcial, retenido acumulado y peso del material pasante. Con los resultados obtenidos del material pasante para cada una de las aberturas de los tamices, se ha realizado una curva granulométrica representada en el *Anexo AB*. A partir de esta curva granulométrica podemos determinar gráficamente el diámetro de las partículas que en mayor parte está presente en la muestra representativa, no obstante, los diámetros de partículas más relevantes para la clasificación de suelos son los que comprenden el 60, 30 y 10% del total de la muestra. Por tanto, al determinar gráficamente los valores del diámetro de las partículas se obtiene que 2.8mm, 1.5mm, 0.85mm y 2.0mm, 0.5mm y 0.25mm corresponden al 60, 30 y 10% de la muestra #1 y muestra #2, respectivamente.

### **Determinación del límite líquido.**

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, el límite líquido corresponde al porcentaje de humedad en el que el suelo cambia de estado plástico a líquido. Por consiguiente, con el respaldo de los cálculos mostrados en el *Anexo AC* se procedió a determinar el límite líquido del suelo graficando una línea de tendencia entre el contenido de humedad y su respectivo número de golpes, con esta línea de tendencia se estableció una ecuación con la que se determinará analíticamente el contenido de humedad para 25 golpes de la Copa Casagrande, dando como resultado que con un 24.0% de contenido de humedad, se consigue llegar al límite líquido de la muestra #1, para el caso de la muestra #2 indica que

con un 21.0% de contenido de humedad el suelo de la calle 15 de Junio cambia de estado plástico a líquido.

### **Determinación del límite plástico.**

De la misma forma que con el límite líquido, se han recolectado los datos correspondientes para la determinación del límite plástico del suelo, que de acuerdo con la teoría corresponde al contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico. Con los contenidos de humedad expuestos en el *Anexo AD* se realizó un promedio para determinar el límite plástico, en consecuencia, el valor corresponde al 22.1% de contenido de humedad para que la muestra #1, para el caso de la muestra #2 se indica que el valor corresponde al 21.0% de contenido de humedad para que el suelo alcance el límite plástico.

### **Determinación del Índice de plasticidad.**

En este punto se determina el índice de plasticidad para las dos muestras de suelo de la calle 15 de Junio, la cual nos servirá para determinar el símbolo de grupo correspondiente para la clasificación de suelos.

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = 24.0\% - 21.0\% = 3.0\%$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = 21.0\% - 21.0\% = 0.0\%$$

### **Clasificación del suelo.**

Una vez determinada la granulometría de la muestra de suelo y la naturaleza de su porción cohesiva con los Límites de Atterberg, se procede con la clasificación de la muestra de suelo.

En primera instancia se debe analizar el porcentaje pasante del tamiz No.200, puesto que, el suelo tiene aproximadamente el 0% del porcentaje pasante por dicho tamiz, el suelo se trata de un suelo grueso para ambas muestras. Luego, se analiza el porcentaje pasante del tamiz No.4, el cual es el 92% para la muestra #1 y el 73% para la muestra #2 indicando que el tipo de suelo grueso es una arena y no una grava.

En este punto, la figura #6 junto con la figura #4 serán de utilidad para posicionar al suelo con un símbolo de grupo. En ese sentido, se pudo determinar que la tipología del suelo corresponde a un *SP*, es decir, *Sand poorly graded o una Arena mal graduada*. De esta forma, con la carta de plasticidad se tomaron los valores del límite líquido y el índice de plasticidad para determinar que partículas finas se encuentran inmiscuidas en la muestra representativa, dando como resultado una presencia significativa de *Limos inorgánicos de baja plasticidad*.

Por último, se debe agregar un símbolo de grupo al suelo de ser necesario, para ello, la figura #5 indica que para suelo arenoso se debe determinar si el porcentaje de grava es superior o inferior al 15%, para este caso particular de suelo, la muestra #1 posee menos del 15% de partículas gravosas y la muestra #2 más del 15% de las partículas gravosas. En consecuencia, como la carta de plasticidad puso en evidencia la presencia de partículas limosas y no arcillosas, el suelo será clasificado con un SP-SM que corresponde a una *Arena mal graduada con limo*, que son las partículas que están presentes en ambas muestras. La simbología doble obedece a la afirmación de que “Cuando un material no cae claramente

dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a las condiciones de frontera” (Juárez Badillo & Rodríguez, 2005, p.154).

#### **Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.**

Conforme a los datos expuestos en el *Anexo AE*, se puede evidenciar el proceso a seguir para determinar la densidad seca de la muestra de suelo para cada molde a diferentes contenidos de humedad. Estas densidades se graficaron juntamente con su correspondiente contenido de humedad, de esta manera, el contenido de humedad óptimo que obedece a la densidad máxima seca es de 4.6% para la muestra #1 y 7.8% para la muestra #2.

#### **Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.**

Una vez realizados los trabajos de laboratorio se procedió con el ensayo de soporte california detallado en la metodología para tres moldes a diferentes energías de compactación. Debido a que, la máquina de carga proporciona resultados para cada 0.001mm de deformación, se tendrán muchos valores de la carga aplicada hasta alcanzar la deformación de 5.08mm requerida. En ese sentido, se ha respetado los valores de deformación sugeridos por la norma ASTM D1883 para realizar la gráfica del esfuerzo en función de la deformación.

Tabla #37: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [15 de Junio muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.13	0.64
0.25	1.27
0.40	1.91
0.60	2.54
0.84	3.18
1.13	3.81
1.44	4.45
1.75	5.08

Tabla #38: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [15 de Junio muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.76	0.64
2.56	1.27
4.58	1.91
6.53	2.54
8.17	3.18
9.16	3.81
10.05	4.45
10.03	5.08

Tabla #39: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [15 de Junio muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.45	0.64
1.42	1.27
2.60	1.91
3.63	2.54
4.49	3.18
5.17	3.81
5.83	4.45
6.41	5.08

Tabla #40: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [15 de Junio muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.78	0.64
2.21	1.27
3.34	1.91
4.24	2.54
5.01	3.18
5.61	3.81
6.14	4.45
6.59	5.08

Tabla #41: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [15 de Junio muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.37	0.64
0.60	1.27
0.74	1.91
0.76	2.54
0.80	3.18
0.90	3.81
1.03	4.45
1.16	5.08

Tabla #42: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [15 de Junio muestra #2]

Esfuerzo (MPa)	Def (mm)
0.14	0.64
0.19	1.27
0.22	1.91
0.25	2.54
0.27	3.18
0.30	3.81
0.33	4.45
0.35	5.08

En las tablas anteriores se puede evidenciar los datos obtenidos correspondientes al esfuerzo y a la deformación registrada por la máquina de carga y el deformímetro, por consiguiente, se procederá a graficar estos resultados para las diferentes energías de compactación en conjunto, para cada muestra.

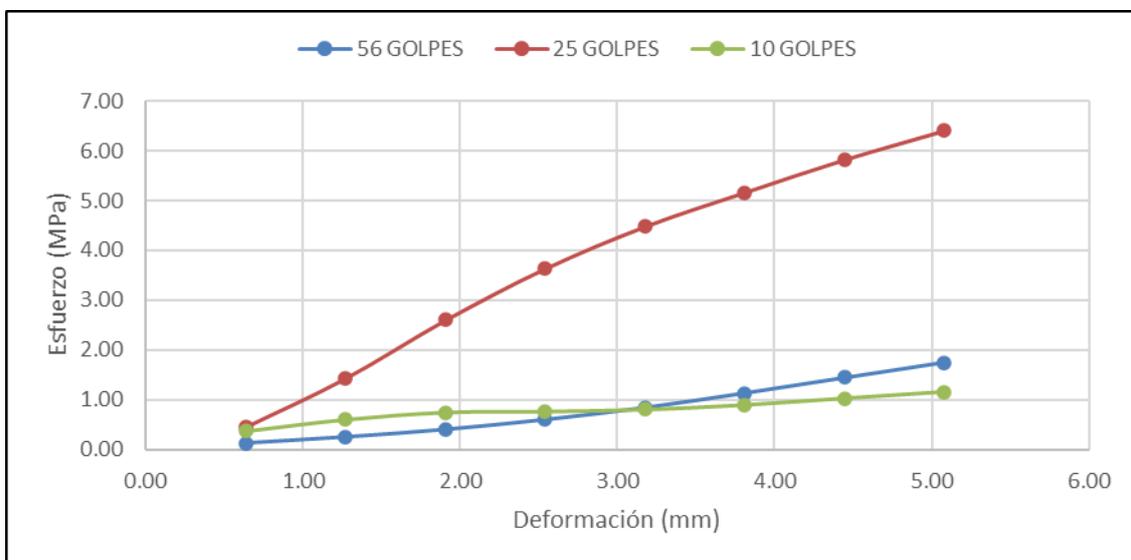


Figura #43: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [15 de Junio muestra #1]

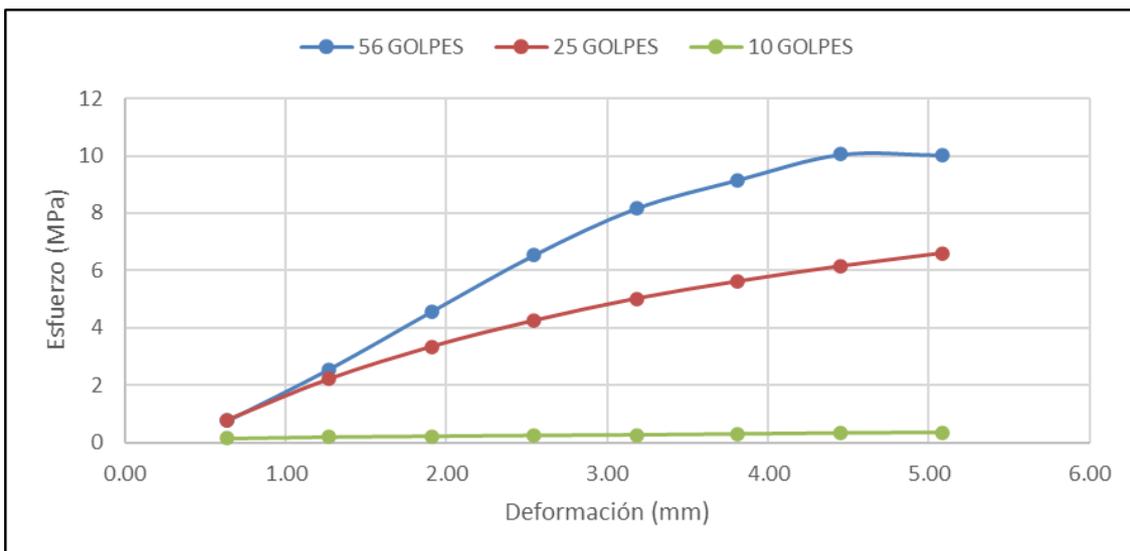


Figura #44: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [15 de Junio muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #43 y figura #44, la línea que une los puntos de los resultados para esfuerzo y deformación no posee una concavidad pronunciada, de manera que, los valores obtenidos de la máquina de carga no serán corregidos por su no linealidad de acuerdo con la norma ASTM D1883.

En consecuencia, se procederá con la determinación de la relación de soporte californiana con la ayuda de los esfuerzos patrón de 6.90MPa y 10.35MPa, correspondientes a una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.60 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 8.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{3.63 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 52.6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.76 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 11.1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.75 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 16.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{6.41 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 61.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.16 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 11.2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{6.53 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 94.6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{4.24 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 61.4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.25 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 3.6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{10.03 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 96.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{6.59 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 63.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.35 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 3.4\% \end{aligned}$$

Una vez determinada la relación de soporte para cada energía de compactación, se procede a obtener un único valor que pueda ser relacionado con la capacidad del suelo a una deformación de 2.54mm y 5.08mm respecto de la muestra patrón. Para ello se procede a determinar la densidad seca con los pesos de suelo compactado que se registraron antes de sumergir los moldes CBR para cada energía de compactación, y presentados en las tablas #45 y #46. De esta manera, se graficará la densidad seca en función de la relación de soporte californiana anteriormente calculada para determinar un único valor de % CBR, de acuerdo con, la densidad máxima seca del ensayo Proctor Estándar.

Tabla #45: Datos del ensayo de compactación para CBR [15 de Junio muestra #1]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	4.6
<b>Peso de molde y base #1</b>	7052.6 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	7059.2 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7371.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11993.2 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	11584.0 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	11655.8 g

Tabla #46: Datos del ensayo de compactación para CBR [15 de Junio muestra #2]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	7.8
<b>Peso de molde y base #1</b>	7052.6 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	7059.2 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7371.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11644.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	11298.0 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	11078.8 g

Con los valores de la tabla #45 y tabla #46 se debe calcular en primera instancia el peso del suelo compactado, haciendo la diferencia entre el peso del molde incluida la base y la muestra, menos el peso del molde incluida la base. Luego, se determina la densidad húmeda con la relación del peso del suelo compactado y el volumen del molde CBR de  $2124\text{cm}^3$ , es importante mencionar que el volumen del molde puede ir variando respecto a la incertidumbre presentada en la norma ASTM D1883. Por último, se calcula la densidad seca con la relación de la densidad húmeda y el contenido de humedad de la muestra, obteniendo los resultados presentados en la tabla #47 y tabla #48.

Tabla #47: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [15 de Junio muestra #1]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4940.6 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4524.8 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	4284.4 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	2.13 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.95 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.84 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	2.03 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.86 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.76 g/cm <sup>3</sup>

Tabla #48: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [15 de Junio muestra #2]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4591.8 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4238.8 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	3707.4 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	2.16 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	2.00 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.75 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	2.01 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.85 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.62 g/cm <sup>3</sup>

Con las densidades antes determinadas, se procede a tomar el valor de la densidad máxima seca del *Anexo AE*, para cada una de las dos muestras de suelo. Este valor será utilizado para determinar un porcentaje único de las relaciones de soporte californiana calculadas para las diferentes energías de compactación. No obstante, únicamente se tomará el 95% de la densidad máxima seca para determinar un % CBR para las deformaciones de 2.54mm y 5.08mm (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003).

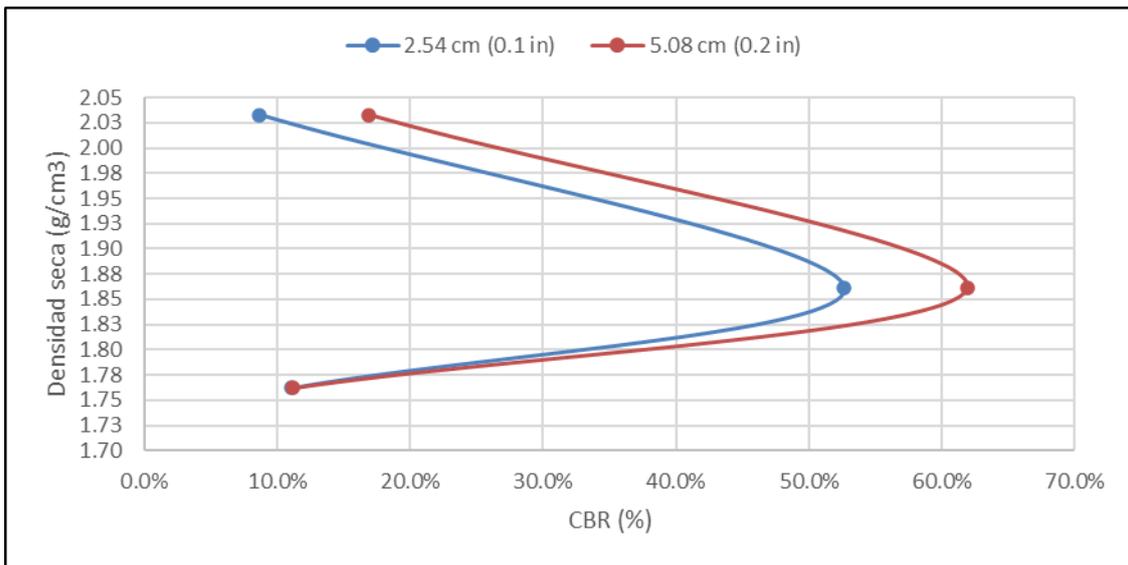


Figura #43: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [15 de Junio muestra #1]

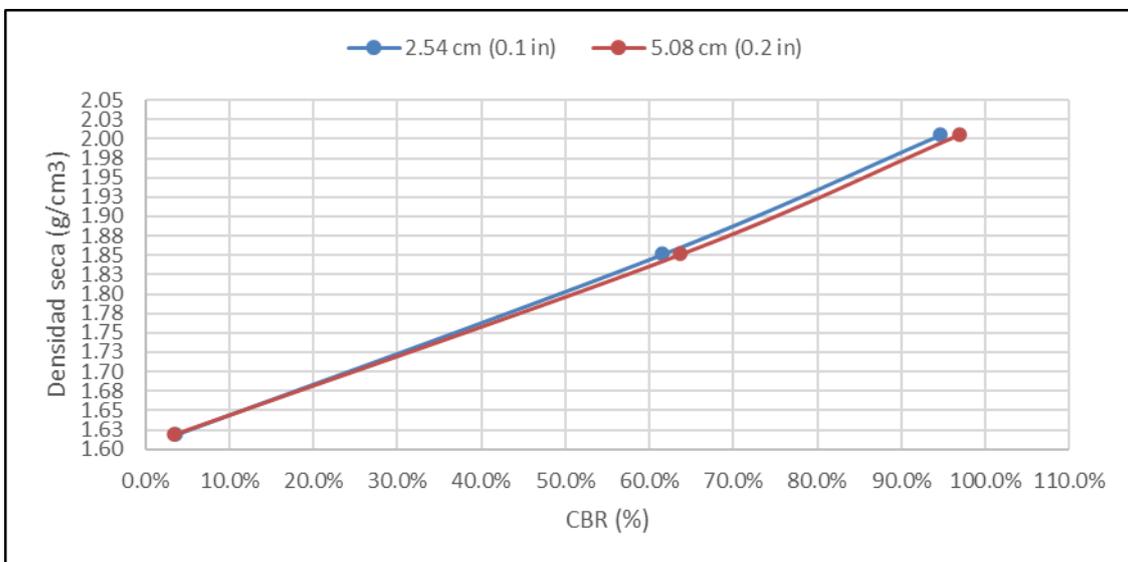


Figura #44: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [15 de Junio muestra #2]

Finalmente, con la ayuda de la figura #43 y figura #44 se determinó que para la muestra #1 la relación de soporte californiana es de 33.0% y 40.0% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente. Para el caso de la muestra #2 la relación de soporte californiana es el 34.0% y 35.0% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

### **Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.**

Con los valores de la hoja de datos expuesta en el *Anexo C* y *Anexo D* se procederá a realizar un gráfico de dispersión el cual relacionará los valores de la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados. De esta manera, con una línea de tendencia se procederá a correlacionar los valores, de tal forma que, la pendiente de la ecuación lineal será el número DCP expresado en mm/golpe.

Tabla #49: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [15 de Junio muestra #1]

<b>Cantidad de Golpes entre lecturas</b>	<b>Cantidad de Golpes acumulados</b>	<b>Penetración Acumulada (mm)</b>
0	0	0.0
5	5	90.0
5	10	110.0
5	15	170.0
10	25	251.0
5	30	305.0
5	35	372.0
10	45	405.0
5	50	601.0
5	55	662.0
5	60	850.0
5	65	912.0

Tabla #50: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [15 de Junio muestra #2]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0
5	5	98.0
5	10	129.0
5	15	190.0
10	25	295.0
5	30	330.0
5	35	355.0
10	45	415.0
5	50	450.0
5	55	495.0
5	60	546.0
5	65	564.0

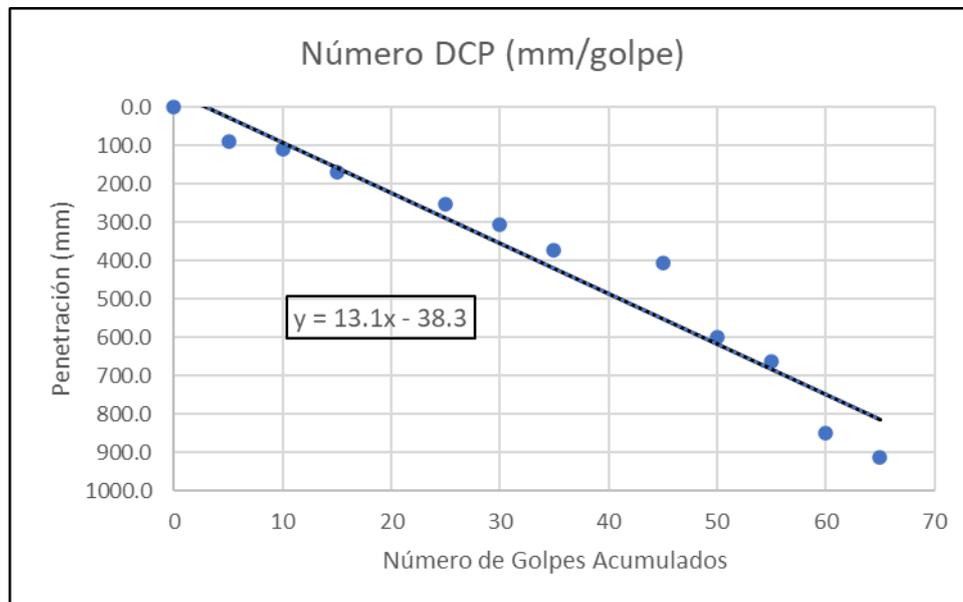


Figura #45: Gráfica para la determinación del número DCP [15 de Junio muestra #1]

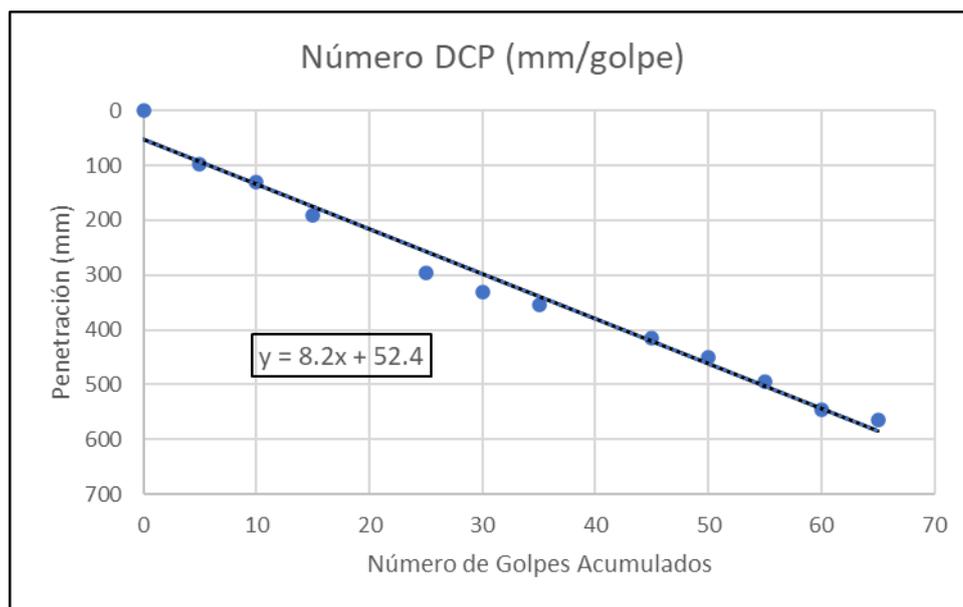


Figura #46: Gráfica para la determinación del número DCP [15 de Junio muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #29 y figura #30 las pendientes de la ecuación a línea de tendencia indicarán el valor del número DCP, en ese sentido, se evidencia que para la muestra #1 el número DCP es de 13.1 mm/golpe y para la muestra #2 el número DCP es 8.2 mm/golpe.

## Calle Pueblo Viejo

### Localización.



Figura #47: Ubicación satelital calle Pueblo Viejo. Recuperado de

<https://www.google.com.ec/maps>

### **Tamizado en peso de la muestra representativa.**

Una vez tamizada las muestras a través de los tamices estándar, se registra el peso del material retenido de los tamices, con ello, se caracteriza porcentualmente el peso retenido parcial, retenido acumulado y peso del material pasante. Con los resultados obtenidos del material pasante para cada una de las aberturas de los tamices, se ha realizado una curva granulométrica representada en el *Anexo AF*. A partir de esta curva granulométrica podemos determinar gráficamente el diámetro de las partículas que en mayor parte está presente en la muestra representativa, no obstante, los diámetros de partículas más relevantes para la clasificación de suelos son los que comprenden el 60, 30 y 10% del total de la muestra. Por tanto, al determinar gráficamente los valores del diámetro de las partículas se obtiene que 4.0mm, 0.8mm, 0.25mm y 2.3mm, 0.5mm y 0.17mm corresponden al 60, 30 y 10% de la muestra #1 y muestra #2, respectivamente.

### **Determinación del límite líquido.**

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, el límite líquido corresponde al porcentaje de humedad en el que el suelo cambia de estado plástico a líquido. Por consiguiente, con el respaldo de los cálculos mostrados en el *Anexo AG* se procedió a determinar el límite líquido del suelo graficando una línea de tendencia entre el contenido de humedad y su respectivo número de golpes, con esta línea de tendencia se estableció una ecuación con la que se determinará analíticamente el contenido de humedad para 25 golpes de la Copa Casagrande, dando como resultado que con un 33.7% de contenido de humedad, se consigue llegar al límite líquido de la muestra #1, para el caso de la muestra #2 indica que con un 26.3% de contenido de humedad el suelo de la calle Pueblo Viejo cambia de estado plástico a líquido.

### **Determinación del límite plástico.**

De la misma forma que con el límite líquido, se han recolectado los datos correspondientes para la determinación del límite plástico del suelo, que de acuerdo con la teoría corresponde al contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico. Con los contenidos de humedad expuestos en el *Anexo AH* se realizó un promedio para determinar el límite plástico, en consecuencia, el valor corresponde al 31.0% de contenido de humedad para que la muestra #1, para el caso de la muestra #2 se indica que el valor corresponde al 23.4% de contenido de humedad para que el suelo alcance el límite plástico.

### **Determinación del Índice de plasticidad.**

En este punto se determina el índice de plasticidad para las dos muestras de suelo de la calle Pueblo Viejo, la cual nos servirá para determinar el símbolo de grupo correspondiente para la clasificación de suelos.

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = 33.7\% - 31.0\% = 2.7\%$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = 26.3\% - 23.4\% = 2.9\%$$

### **Clasificación del suelo.**

Una vez determinada la granulometría de la muestra de suelo y la naturaleza de su porción cohesiva con los Límites de Atterberg, se procede con la clasificación de la muestra de suelo.

En primera instancia se debe analizar el porcentaje pasante del tamiz No.200, puesto que, el suelo tiene aproximadamente el 0% del porcentaje pasante por dicho tamiz, el suelo se trata de un suelo grueso para ambas muestras. Luego, se analiza el porcentaje pasante del tamiz No.4, el cual es el 66% para la muestra #1 y el 74% para la muestra #2 indicando que el tipo de suelo grueso es una arena y no una grava.

En este punto, la figura #6 junto con la figura #4 serán de utilidad para posicionar al suelo con un símbolo de grupo. En ese sentido, se pudo determinar que la tipología del suelo corresponde a un SW, es decir, *Sand well graded o una Arena bien graduada*. De esta forma, con la carta de plasticidad se tomaron los valores del límite líquido y el índice de plasticidad para determinar que partículas finas se encuentran inmiscuidas en la muestra representativa, dando como resultado una presencia significativa de *Limos inorgánicos de baja plasticidad*.

Por último, se debe agregar un símbolo de grupo al suelo de ser necesario, para ello, la figura #5 indica que para suelo arenoso se debe determinar si el porcentaje de grava es superior o inferior al 15%, para este caso particular de suelo, ambas muestras poseen más del 15% de partículas gravosas. En consecuencia, como la carta de plasticidad puso en evidencia la presencia de partículas limosas y no arcillosas, el suelo será clasificado con un SW-SM que corresponde a una *Arena bien graduada con limo y grava*. La simbología doble obedece a la afirmación de que “Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a las condiciones de frontera” (Juárez Badillo & Rodríguez, 2005, p.154).

### **Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.**

Conforme a los datos expuestos en el *Anexo AI*, se puede evidenciar el proceso a seguir para determinar la densidad seca de la muestra de suelo para cada molde a diferentes contenidos de humedad. Estas densidades se graficaron juntamente con su correspondiente contenido de

humedad, de esta manera, el contenido de humedad óptimo que obedece a la densidad máxima seca es de 6.75% para la muestra #1 y 5.0% para la muestra #2.

### **Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.**

Una vez realizados los trabajos de laboratorio se procedió con el ensayo de soporte californiano detallado en la metodología para tres moldes a diferentes energías de compactación. Debido a que, la máquina de carga proporciona resultados para cada 0.001mm de deformación, se tendrán muchos valores de la carga aplicada hasta alcanzar la deformación de 5.08mm requerida. En ese sentido, se ha respetado los valores de deformación sugeridos por la norma ASTM D1883 para realizar la gráfica del esfuerzo en función de la deformación.

Tabla #51: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Pueblo Viejo muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.38	0.64
2.16	1.27
3.58	1.91
4.87	2.54
5.78	3.18
6.52	3.81
7.03	4.45
7.44	5.08

Tabla #52: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Pueblo Viejo muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
1.07	0.64
2.35	1.27
3.03	1.91
3.52	2.54
3.90	3.18
4.27	3.81
4.57	4.45
4.84	5.08

Tabla #53: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Pueblo Viejo muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.71	0.64
1.46	1.27
1.97	1.91
2.40	2.54
2.51	3.18
2.66	3.81
2.70	4.45
2.88	5.08

Tabla #54: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Pueblo Viejo muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.51	0.64
1.09	1.27
1.53	1.91
1.89	2.54
2.21	3.18
2.46	3.81
2.70	4.45
2.88	5.08

Tabla #55: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Pueblo Viejo muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.35	0.64
0.70	1.27
0.83	1.91
0.84	2.54
0.85	3.18
0.87	3.81
0.89	4.45
0.92	5.08

Tabla #56: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Pueblo Viejo muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.14	0.64
0.36	1.27
0.54	1.91
0.68	2.54
0.79	3.18
0.88	3.81
0.97	4.45
1.05	5.08

En las tablas anteriores se puede evidenciar los datos obtenidos correspondientes al esfuerzo y a la deformación registrada por la máquina de carga y el deformímetro, por consiguiente, se procederá a graficar estos resultados para las diferentes energías de compactación en conjunto, para cada muestra.

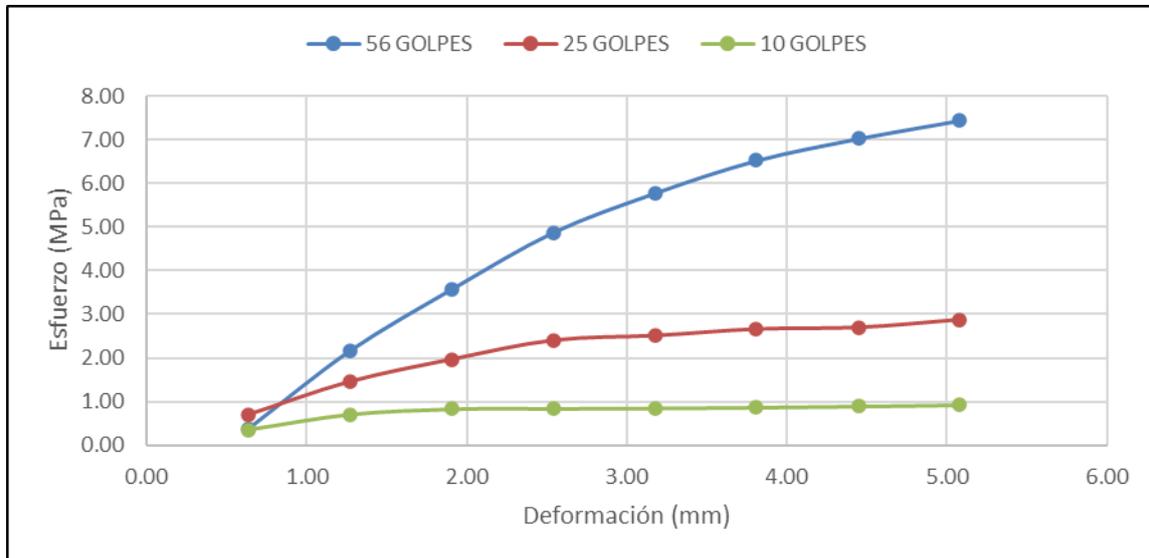


Figura #48: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Pueblo Viejo muestra #1]

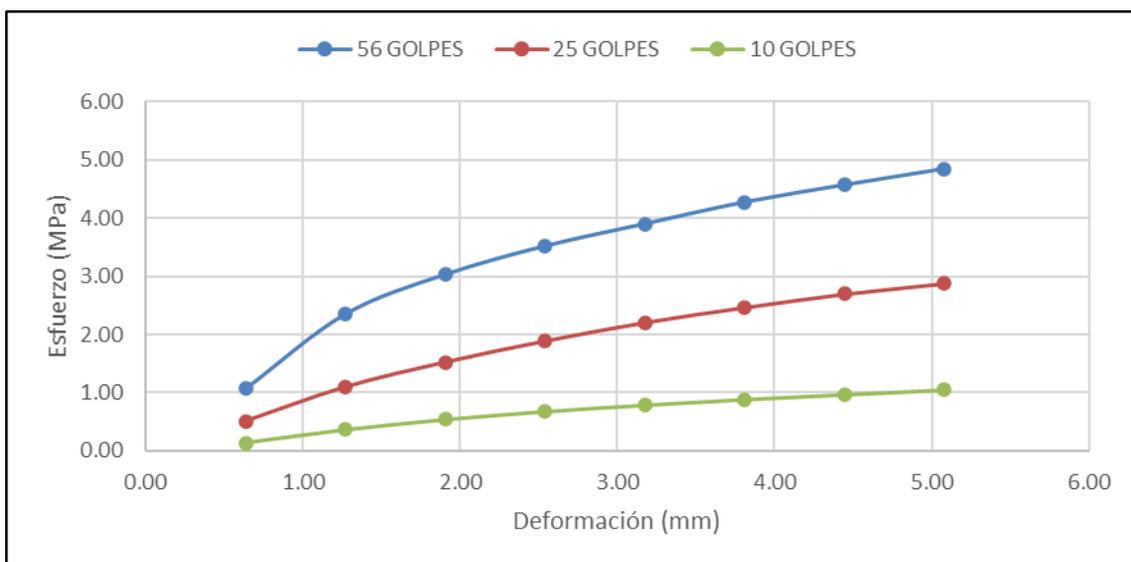


Figura #49: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Pueblo Viejo muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #48 y figura #49, la línea que une los puntos de los resultados para esfuerzo y deformación no posee una concavidad pronunciada, de manera

que, los valores obtenidos de la máquina de carga no serán corregidos por su no linealidad de acuerdo con la norma ASTM D1883.

En consecuencia, se procederá con la determinación de la relación de soporte californiana con la ayuda de los esfuerzos patrón de 6.90MPa y 10.35MPa, correspondientes a una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{4.87 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 70.6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{2.40 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 34.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.84 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 12.2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{7.44 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 71.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{2.88 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 27.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.92 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 8.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{3.52 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 51.0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{1.89 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 27.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.68 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 9.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{4.84 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 46.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{2.88 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 27.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.05 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 10.1\% \end{aligned}$$

Una vez determinada la relación de soporte para cada energía de compactación, se procede a obtener un único valor que pueda ser relacionado con la capacidad del suelo a una deformación de 2.54mm y 5.08mm respecto de la muestra patrón. Para ello se procede a determinar la densidad seca con los pesos de suelo compactado que se registraron antes de sumergir los moldes CBR para cada energía de compactación, y presentados en las tablas #57 y #58. De esta manera, se graficará la densidad seca en función de la relación de soporte californiana anteriormente calculada para determinar un único valor de % CBR, de acuerdo con, la densidad máxima seca del ensayo Proctor Estándar.

Tabla #57: Datos del ensayo de compactación para CBR [Pueblo Viejo muestra #1]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	6.75
<b>Peso de molde y base #1</b>	6961.8 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	6951.4 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7042 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11381.0 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	11119.0 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	10943.6 g

Tabla #58: Datos del ensayo de compactación para CBR [Pueblo Viejo muestra #2]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	5
<b>Peso de molde y base #1</b>	6089.6 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	6052.8 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	6120.6 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	10044 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	9871.6 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	9724.2 g

Con los valores de la tabla #57 y tabla #58 se debe calcular en primera instancia el peso del suelo compactado, haciendo la diferencia entre el peso del molde incluida la base y la muestra, menos el peso del molde incluida la base. Luego, se determina la densidad húmeda con la relación del peso del suelo compactado y el volumen del molde CBR de 2124cm<sup>3</sup>, es importante mencionar que el volumen del molde puede ir variando respecto a la

incertidumbre presentada en la norma ASTM D1883. Por último, se calcula la densidad seca con la relación de la densidad húmeda y el contenido de humedad de la muestra, obteniendo los resultados presentados en la tabla #59 y tabla #60.

Tabla #59: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Pueblo Viejo muestra #1]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4419.2 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4167.6 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	3901.6 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.82 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.72 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.61 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.71 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.61 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.51 g/cm <sup>3</sup>

Tabla #60: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Pueblo Viejo muestra #2]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	3954.4 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	3818.8 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	3603.6 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	3.37 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	3.25 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	3.07 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	3.21 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	3.10 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	2.92 g/cm <sup>3</sup>

Con las densidades antes determinadas, se procede a tomar el valor de la densidad máxima seca del *Anexo AI*, para cada una de las dos muestras de suelo. Este valor será utilizado para determinar un porcentaje único de las relaciones de soporte california calculadas para las diferentes energías de compactación. No obstante, únicamente se tomará el 95% de la densidad máxima seca para determinar un % CBR para las deformaciones de 2.54mm y 5.08mm (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003).

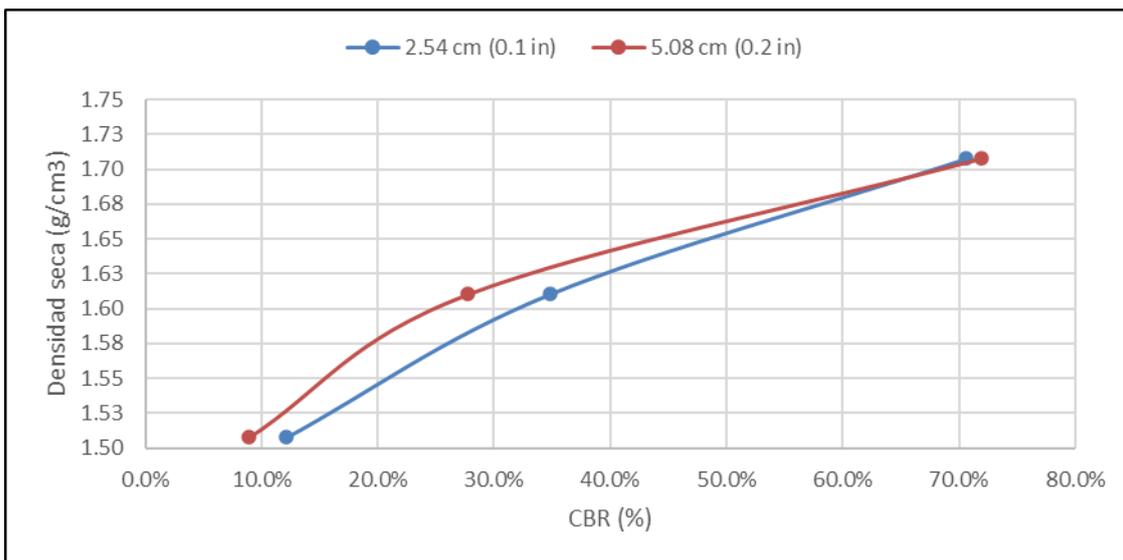


Figura #50: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [Pueblo Viejo muestra #1]

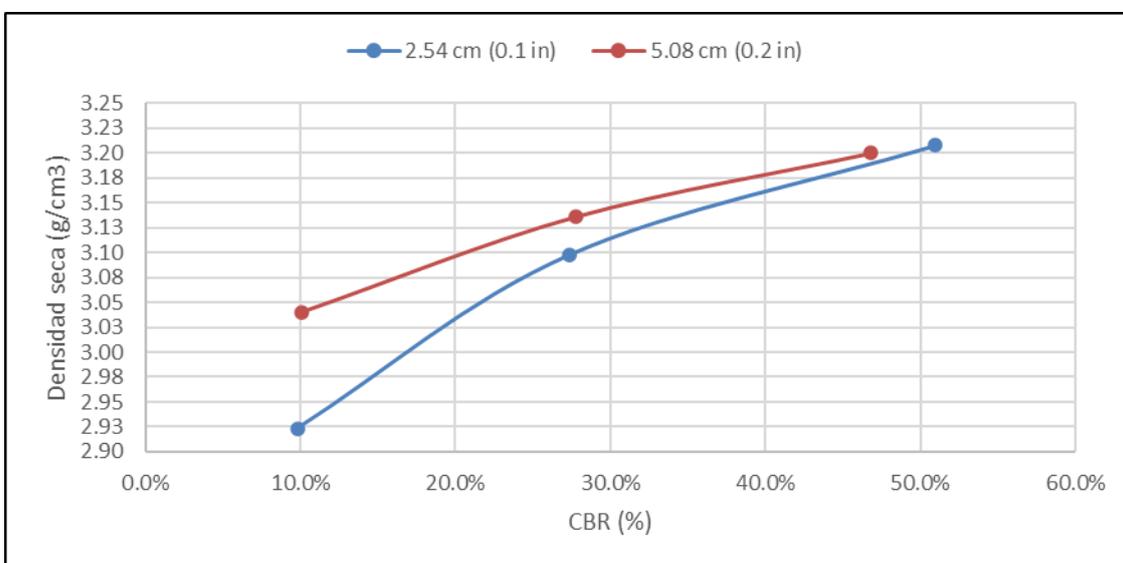


Figura #51: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [Pueblo Viejo muestra #2]

Finalmente, con la ayuda de la figura #50 y figura #51 se determinó que para la muestra #1 la relación de soporte californiana es de 14.0% y 18.0% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente. Para el caso de la muestra #2 la relación de soporte californiana es el 21.9% y 10.1% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

### Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.

Con los valores de la hoja de datos expuesta en el *Anexo I* y *Anexo J* se procederá a realizar un gráfico de dispersión el cual relacionará los valores de la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados. De esta manera, con una línea de tendencia se procederá a correlacionar los valores, de tal forma que, la pendiente de la ecuación lineal será el número DCP expresado en mm/golpe.

Tabla #61: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Pueblo Viejo muestra #1]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0.0
5	5	70.0
5	10	110.0
5	15	165.0
10	25	255.0
5	30	280.0
5	35	315.0
10	45	405.0
5	50	430.0
5	55	455.0
5	60	461.0
5	65	491.0

Tabla #62: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Pueblo Viejo muestra #2]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0
5	5	89.0
5	10	131.0
5	15	274.0
10	25	432.0
5	30	532.0
5	35	574.0
10	45	657.0
5	50	703.0
5	55	745.0
5	60	812.0
5	65	880.0

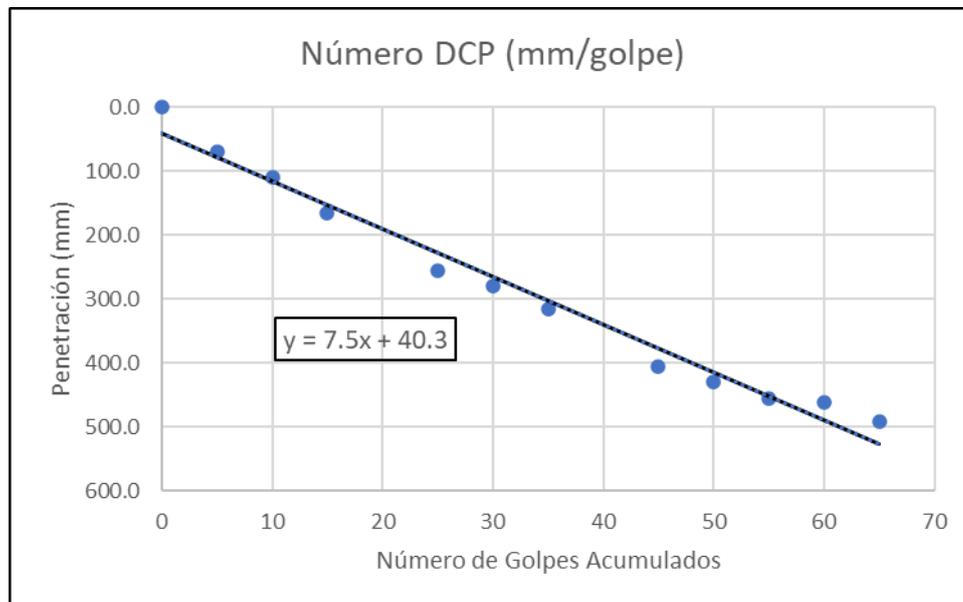


Figura #52: Gráfica para la determinación del número DCP [Pueblo Viejo muestra #1]

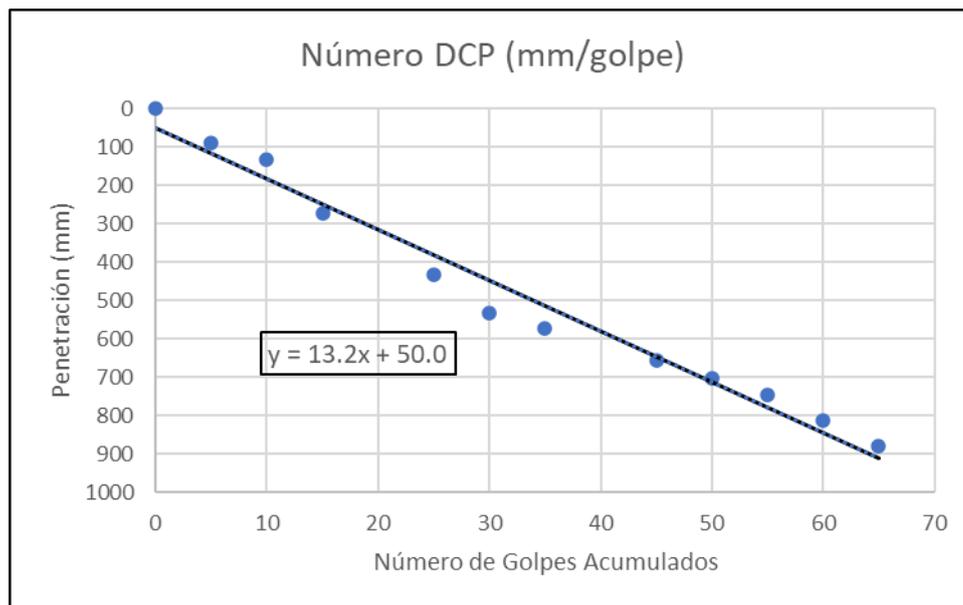


Figura #53: Gráfica para la determinación del número DCP [Pueblo Viejo muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #52 y figura #53 las pendientes de la ecuación a línea de tendencia indicarán el valor del número DCP, en ese sentido, se evidencia que para la muestra #1 el número DCP es de 7.5 mm/golpe y para la muestra #2 el número DCP es 13.2 mm/golpe.

## Calle San Pedroco

### Localización.



Figura #54: Ubicación satelital calle San Pedroco. Recuperado de

<https://www.google.com.ec/maps>

### **Tamizado en peso de la muestra representativa.**

Una vez tamizada las muestras a través de los tamices estándar, se registra el peso del material retenido de los tamices, con ello, se caracteriza porcentualmente el peso retenido parcial, retenido acumulado y peso del material pasante. Con los resultados obtenidos del material pasante para cada una de las aberturas de los tamices, se ha realizado una curva granulométrica representada en el *Anexo AJ*. A partir de esta curva granulométrica podemos determinar gráficamente el diámetro de las partículas que en mayor parte está presente en la muestra representativa, no obstante, los diámetros de partículas más relevantes para la clasificación de suelos son los que comprenden el 60, 30 y 10% del total de la muestra. Por tanto, al determinar gráficamente los valores del diámetro de las partículas se obtiene que 2.2mm, 1.2mm, 0.9mm y 3.0mm, 0.47mm y 0.23mm corresponden al 60, 30 y 10% de la muestra #1 y muestra #2, respectivamente.

### **Determinación del límite líquido.**

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, el límite líquido corresponde al porcentaje de humedad en el que el suelo cambia de estado plástico a líquido. Por consiguiente, con el respaldo de los cálculos mostrados en el *Anexo AK* se procedió a determinar el límite líquido del suelo graficando una línea de tendencia entre el contenido de humedad y su respectivo número de golpes, con esta línea de tendencia se estableció una ecuación con la que se determinará analíticamente el contenido de humedad para 25 golpes de la Copa Casagrande, dando como resultado que con un 25.4% de contenido de humedad, se consigue llegar al límite líquido de la muestra #1, para el caso de la muestra #2 indica que con un 23.3% de contenido de humedad el suelo de la calle San Pedruco cambia de estado plástico a líquido.

### **Determinación del límite plástico.**

De la misma forma que con el límite líquido, se han recolectado los datos correspondientes para la determinación del límite plástico del suelo, que de acuerdo con la teoría corresponde al contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico. Con los contenidos de humedad expuestos en el *Anexo AL* se realizó un promedio para determinar el límite plástico, en consecuencia, el valor corresponde al 22.4% de contenido de humedad para que la muestra #1, para el caso de la muestra #2 se indica que el valor corresponde al 22.5% de contenido de humedad para que el suelo alcance el límite plástico.

### **Determinación del Índice de plasticidad.**

En este punto se determina el índice de plasticidad para las dos muestras de suelo de la calle San Pedruco, la cual nos servirá para determinar el símbolo de grupo correspondiente para la clasificación de suelos.

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = 25.4\% - 22.4\% = 3.0\%$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = 23.3\% - 22.5\% = 0.8\%$$

### **Clasificación del suelo.**

Una vez determinada la granulometría de la muestra de suelo y la naturaleza de su porción cohesiva con los Límites de Atterberg, se procede con la clasificación de la muestra de suelo.

En primera instancia se debe analizar el porcentaje pasante del tamiz No.200, puesto que, el suelo tiene aproximadamente el 0% del porcentaje pasante por dicho tamiz, el suelo se trata de un suelo grueso para ambas muestras. Luego, se analiza el porcentaje pasante del tamiz No.4, el cual es el 78% para la muestra #1 y el 66% para la muestra #2 indicando que el tipo de suelo grueso es una arena y no una grava.

En este punto, la figura #6 junto con la figura #4 serán de utilidad para posicionar al suelo con un símbolo de grupo. En ese sentido, se pudo determinar que la tipología del suelo corresponde a un *SP*, es decir, *Sand poorly graded o una Arena mal graduada*. De esta forma, con la carta de plasticidad se tomaron los valores del límite líquido y el índice de plasticidad para determinar que partículas finas se encuentran inmiscuidas en la muestra representativa, dando como resultado una presencia significativa de *Limos inorgánicos de baja plasticidad*.

Por último, se debe agregar un símbolo de grupo al suelo de ser necesario, para ello, la figura #5 indica que para suelo arenoso se debe determinar si el porcentaje de grava es superior o inferior al 15%, para este caso particular de suelo, ambas muestras poseen más del 15% de partículas gravosas. En consecuencia, como la carta de plasticidad puso en evidencia la presencia de partículas limosas y no arcillosas, el suelo será clasificado con un SP-SM que corresponde a una *Arena mal graduada con limo y grava*. La simbología doble obedece a la afirmación de que “Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a las condiciones de frontera” (Juárez Badillo & Rodríguez, 2005, p.154).

### **Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.**

Conforme a los datos expuestos en el *Anexo AM*, se puede evidenciar el proceso a seguir para determinar la densidad seca de la muestra de suelo para cada molde a diferentes contenidos

de humedad. Estas densidades se graficaron juntamente con su correspondiente contenido de humedad, de esta manera, el contenido de humedad óptimo que obedece a la densidad máxima seca es de 5.0% para la muestra #1 y 5.75% para la muestra #2.

### **Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.**

Una vez realizados los trabajos de laboratorio se procedió con el ensayo de soporte californiano detallado en la metodología para tres moldes a diferentes energías de compactación. Debido a que, la máquina de carga proporciona resultados para cada 0.001mm de deformación, se tendrán muchos valores de la carga aplicada hasta alcanzar la deformación de 5.08mm requerida. En ese sentido, se ha respetado los valores de deformación sugeridos por la norma ASTM D1883 para realizar la gráfica del esfuerzo en función de la deformación.

Tabla #63: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [San Pedroco muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.14	0.64
0.32	1.27
0.60	1.91
0.95	2.54
1.34	3.18
1.70	3.81
2.05	4.45
2.37	5.08

Tabla #64: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [San Pedroco muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.17	0.64
0.65	1.27
1.33	1.91
1.98	2.54
2.62	3.18
3.14	3.81
3.59	4.45
4.00	5.08

Tabla #65: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [San Pedruco muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.11	0.64
0.33	1.27
0.84	1.91
1.40	2.54
1.90	3.18
2.33	3.81
2.74	4.45
3.10	5.08

Tabla #66: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [San Pedruco muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.14	0.64
0.36	1.27
0.64	1.91
0.85	2.54
1.00	3.18
1.08	3.81
1.12	4.45
1.13	5.08

Tabla #67: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [San Pedruco muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.14	0.64
0.34	1.27
0.60	1.91
0.85	2.54
1.05	3.18
1.21	3.81
1.36	4.45
1.48	5.08

Tabla #68: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [San Pedruco muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.06	0.64
0.10	1.27
0.14	1.91
0.19	2.54
0.24	3.18
0.30	3.81
0.34	4.45
0.39	5.08

En las tablas anteriores se puede evidenciar los datos obtenidos correspondientes al esfuerzo y a la deformación registrada por la máquina de carga y el deformímetro, por consiguiente, se procederá a graficar estos resultados para las diferentes energías de compactación en conjunto, para cada muestra.

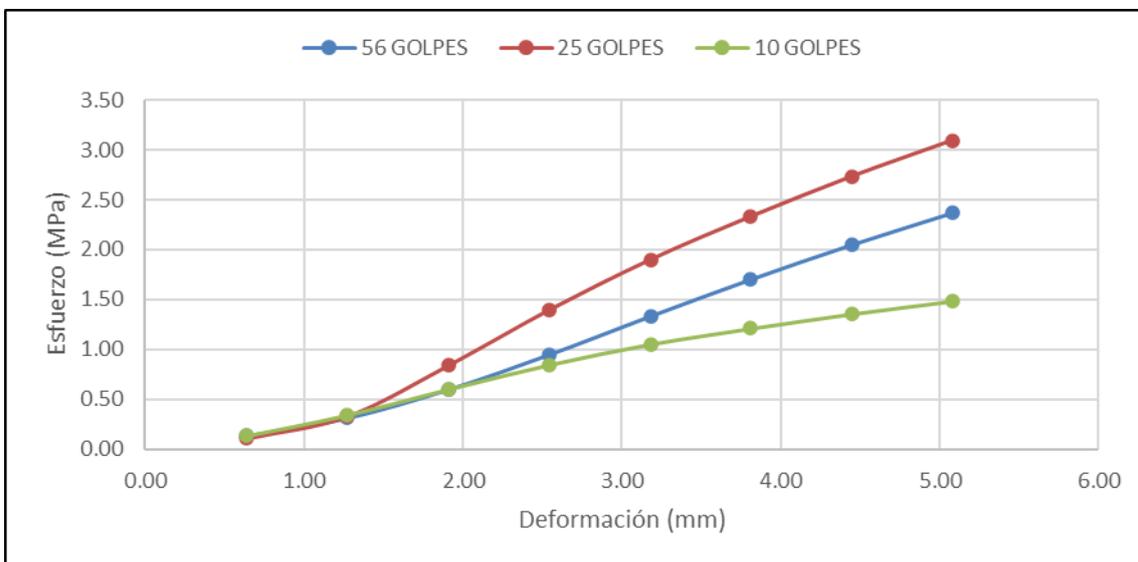


Figura #55: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [San Pedruco muestra #1]

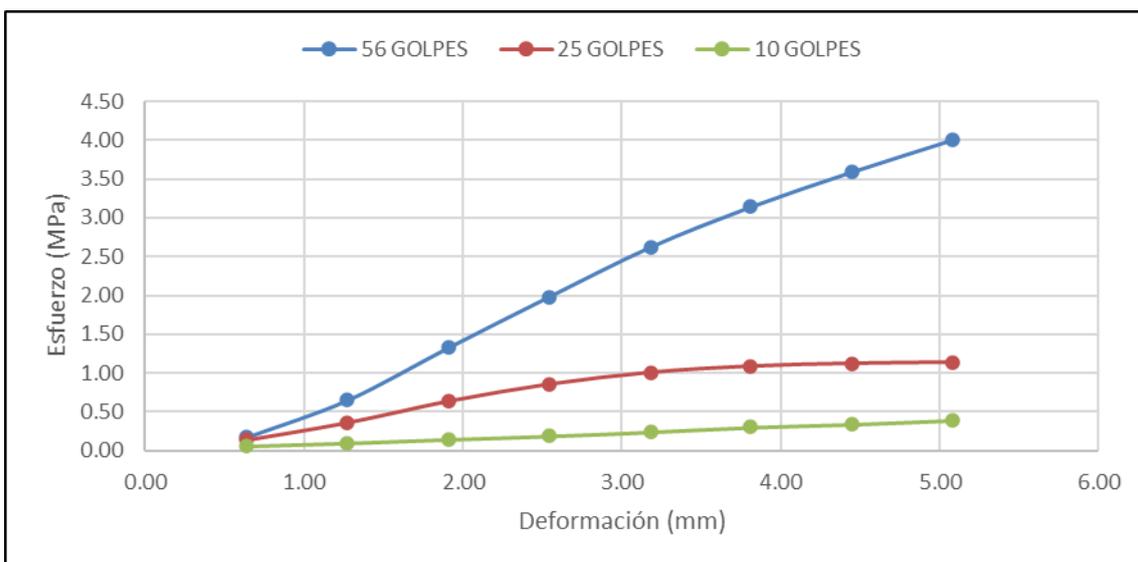


Figura #56: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [San Pedruco muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #55 y figura #56, la línea que une los puntos de los resultados para esfuerzo y deformación no posee una concavidad pronunciada, de manera

que, los valores obtenidos de la máquina de carga no serán corregidos por su no linealidad de acuerdo con la norma ASTM D1883.

En consecuencia, se procederá con la determinación de la relación de soporte californiana con la ayuda de los esfuerzos patrón de 6.90MPa y 10.35MPa, correspondientes a una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.95 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 13.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{1.40 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 20.2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.85 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 12.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{2.37 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 22.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{3.10 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 29.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.48 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 14.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{1.98 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 28.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.85 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 12.4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.19 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 2.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{4.00 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 38.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.13 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 11.0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.39 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 3.8\% \end{aligned}$$

Una vez determinada la relación de soporte para cada energía de compactación, se procede a obtener un único valor que pueda ser relacionado con la capacidad del suelo a una deformación de 2.54mm y 5.08mm respecto de la muestra patrón. Para ello se procede a determinar la densidad seca con los pesos de suelo compactado que se registraron antes de sumergir los moldes CBR para cada energía de compactación, y presentados en las tablas #69 y #70. De esta manera, se graficará la densidad seca en función de la relación de soporte californiana anteriormente calculada para determinar un único valor de % CBR, de acuerdo con, la densidad máxima seca del ensayo Proctor Estándar.

Tabla #69: Datos del ensayo de compactación para CBR [San Pedruco muestra #1]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	5
<b>Peso de molde y base #1</b>	6117.4 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	6036.8 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	6088.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	10513.2 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	10366.6 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	10199.6 g

Tabla #70: Datos del ensayo de compactación para CBR [San Pedruco muestra #2]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	5.75
<b>Peso de molde y base #1</b>	6961.2 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	6952.0 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7043.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11150.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	10856.0 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	10687.8 g

Con los valores de la tabla #69 y tabla #70 se debe calcular en primera instancia el peso del suelo compactado, haciendo la diferencia entre el peso del molde incluida la base y la muestra, menos el peso del molde incluida la base. Luego, se determina la densidad húmeda con la relación del peso del suelo compactado y el volumen del molde CBR de  $2124\text{cm}^3$ , es importante mencionar que el volumen del molde puede ir variando respecto a la

incertidumbre presentada en la norma ASTM D1883. Por último, se calcula la densidad seca con la relación de la densidad húmeda y el contenido de humedad de la muestra, obteniendo los resultados presentados en la tabla #71 y tabla #72.

Tabla #71: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [San Pedroco muestra #1]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4395.8 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4329.8 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	4110.8 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.77 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.74 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.65 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.68 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.66 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.57 g/cm <sup>3</sup>

Tabla #72: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [San Pedroco muestra #2]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4189.2 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	3904.0 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	3644.0 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.88 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.76 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.64 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.78 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.66 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.55 g/cm <sup>3</sup>

Con las densidades antes determinadas, se procede a tomar el valor de la densidad máxima seca del *Anexo AM*, para cada una de las dos muestras de suelo. Este valor será utilizado para determinar un porcentaje único de las relaciones de soporte californias calculadas para las diferentes energías de compactación. No obstante, únicamente se tomará el 95% de la densidad máxima seca para determinar un % CBR para las deformaciones de 2.54mm y 5.08mm (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003).

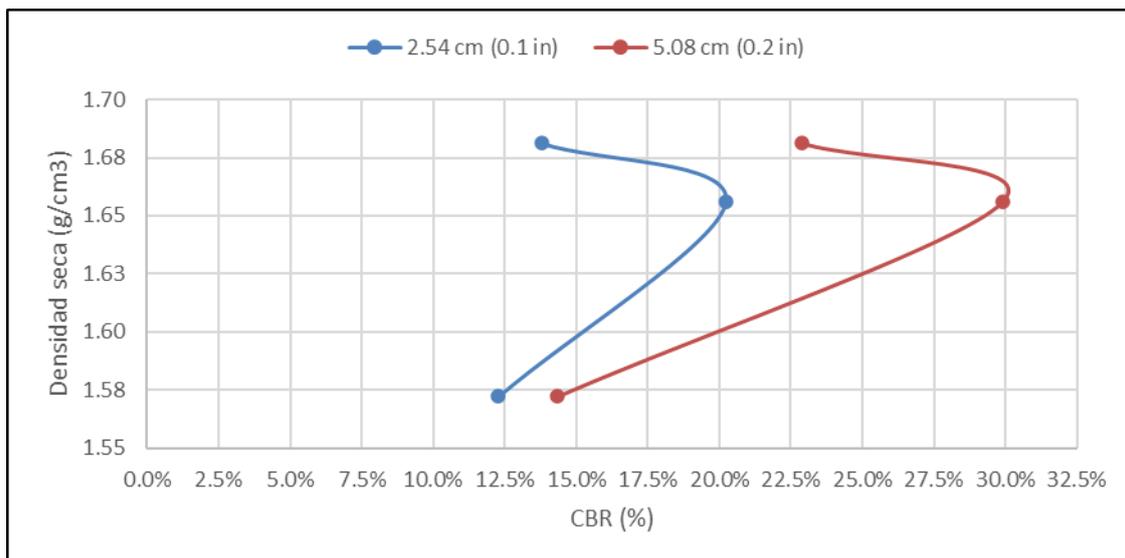


Figura #57: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [San Pedruco muestra #1]

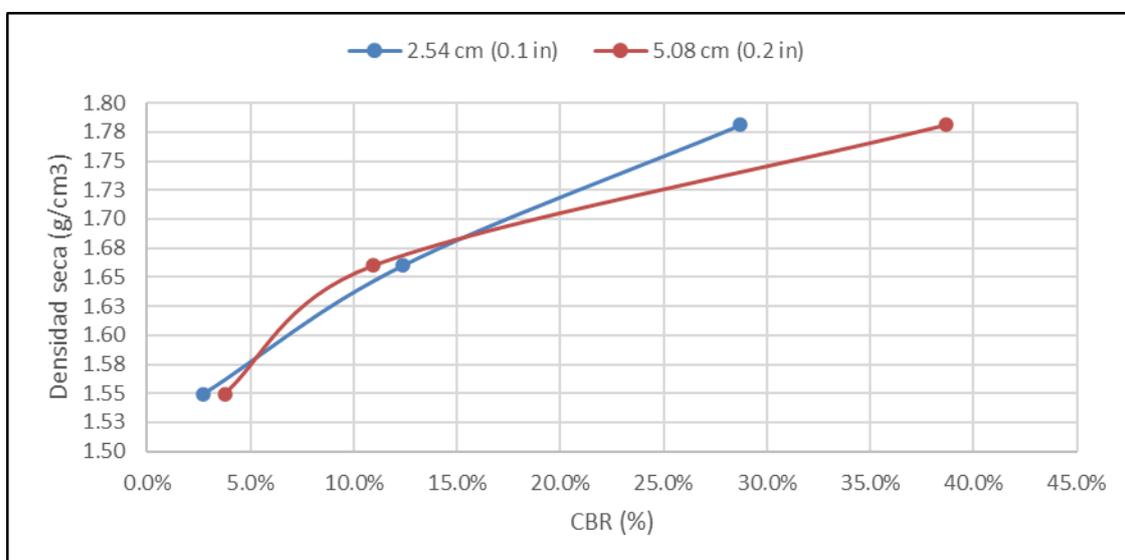


Figura #58: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [San Pedruco muestra #2]

Finalmente, con la ayuda de la figura #57 y figura #58 se determinó que para la muestra #1 la relación de soporte californiana es de 12.4% y 14.5% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente. Para el caso de la muestra #2 la relación de soporte californiana es el 5.0% y 5.2% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

### Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.

Con los valores de la hoja de datos expuesta en el *Anexo Ñ* y *Anexo O* se procederá a realizar un gráfico de dispersión el cual relacionará los valores de la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados. De esta manera, con una línea de tendencia se procederá a correlacionar los valores, de tal forma que, la pendiente de la ecuación lineal será el número DCP expresado en mm/golpe.

Tabla #73: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [San Pedroco muestra #1]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0.0
5	5	150.0
5	10	410.0
1	11	425.0
5	16	475.0
5	21	516.0
5	26	553.0
5	31	590.0
1	32	653.0
1	33	775.0
1	34	821.0
1	35	878.0

Tabla #74: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [San Pedroco muestra #2]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0
5	5	55.2
5	10	100.0
5	15	144.0
5	20	192.0
5	25	269.0
5	30	452.0
5	35	572.0
5	40	585.0
5	45	592.0
5	50	610.0
1	51	650.0

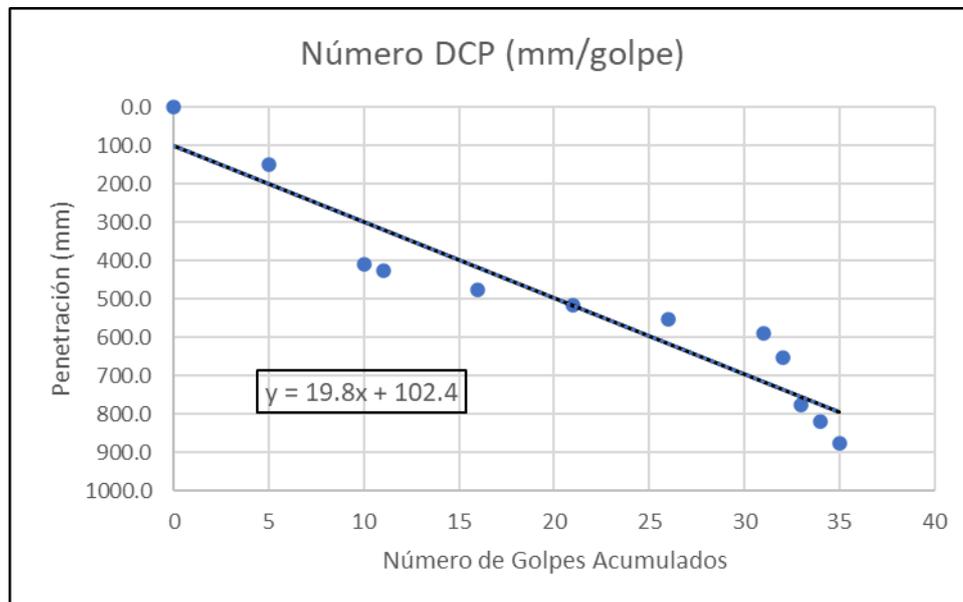


Figura #59: Gráfica para la determinación del número DCP [San Pedruco muestra #1]

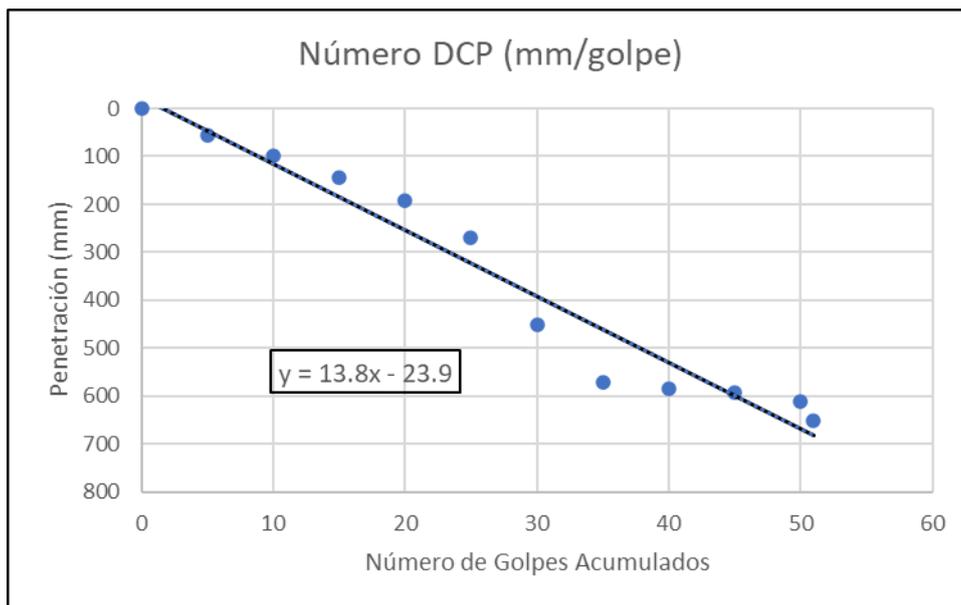


Figura #60: Gráfica para la determinación del número DCP [San Pedruco muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #59 y figura #60 las pendientes de la ecuación a línea de tendencia indicarán el valor del número DCP, en ese sentido, se evidencia que para la muestra #1 el número DCP es de 19.8 mm/golpe y para la muestra #2 el número DCP es 13.8 mm/golpe.

## Calle 24 de Mayo

### Localización.



Figura #61: Ubicación satelital calle 24 de Mayo. Recuperado de

<https://www.google.com.ec/maps>

### **Tamizado en peso de la muestra representativa.**

Una vez tamizada las muestras a través de los tamices estándar, se registra el peso del material retenido de los tamices, con ello, se caracteriza porcentualmente el peso retenido parcial, retenido acumulado y peso del material pasante. Con los resultados obtenidos del material pasante para cada una de las aberturas de los tamices, se ha realizado una curva granulométrica representada en el *Anexo AN*. A partir de esta curva granulométrica podemos determinar gráficamente el diámetro de las partículas que en mayor parte está presente en la muestra representativa, no obstante, los diámetros de partículas más relevantes para la clasificación de suelos son los que comprenden el 60, 30 y 10% del total de la muestra. Por tanto, al determinar gráficamente los valores del diámetro de las partículas se obtiene que 2.5mm, 1.4mm, 0.95mm y 2.5mm, 1.5mm y 1.0mm corresponden al 60, 30 y 10% de la muestra #1 y muestra #2, respectivamente.

### **Determinación del límite líquido.**

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, el límite líquido corresponde al porcentaje de humedad en el que el suelo cambia de estado plástico a líquido. Por consiguiente, con el respaldo de los cálculos mostrados en el *Anexo AO* se procedió a determinar el límite líquido del suelo graficando una línea de tendencia entre el contenido de humedad y su respectivo número de golpes, con esta línea de tendencia se estableció una ecuación con la que se determinará analíticamente el contenido de humedad para 25 golpes de la Copa Casagrande, dando como resultado que con un 21.9% de contenido de humedad, se consigue llegar al límite líquido de la muestra #1, para el caso de la muestra #2 indica que con un 21.9% de contenido de humedad el suelo de la calle 24 de Mayo cambia de estado plástico a líquido.

### **Determinación del límite plástico.**

De la misma forma que con el límite líquido, se han recolectado los datos correspondientes para la determinación del límite plástico del suelo, que de acuerdo con la teoría corresponde al contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico. Con los contenidos de humedad expuestos en el *Anexo AP* se realizó un promedio para determinar el límite plástico, en consecuencia, el valor corresponde al 21.7% de contenido de humedad para que la muestra #1, para el caso de la muestra #2 se indica que el valor corresponde al 21.7% de contenido de humedad para que el suelo alcance el límite plástico.

### **Determinación del Índice de plasticidad.**

En este punto se determina el índice de plasticidad para las dos muestras de suelo de la calle 24 de Mayo, la cual nos servirá para determinar el símbolo de grupo correspondiente para la clasificación de suelos.

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = 21.9\% - 21.7\% = 0.2\%$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = 21.9\% - 21.7\% = 0.2\%$$

### **Clasificación del suelo.**

Una vez determinada la granulometría de la muestra de suelo y la naturaleza de su porción cohesiva con los Límites de Atterberg, se procede con la clasificación de la muestra de suelo.

En primera instancia se debe analizar el porcentaje pasante del tamiz No.200, puesto que, el suelo tiene aproximadamente el 0% del porcentaje pasante por dicho tamiz, el suelo se trata de un suelo grueso para ambas muestras. Luego, se analiza el porcentaje pasante del tamiz No.4, el cual es el 82% para la muestra #1 y el 83% para la muestra #2 indicando que el tipo de suelo grueso es una arena y no una grava.

En este punto, la figura #6 junto con la figura #4 serán de utilidad para posicionar al suelo con un símbolo de grupo. En ese sentido, se pudo determinar que la tipología del suelo corresponde a un *SP*, es decir, *Sand poorly graded o una Arena mal graduada*. De esta forma, con la carta de plasticidad se tomaron los valores del límite líquido y el índice de plasticidad para determinar que partículas finas se encuentran inmiscuidas en la muestra representativa, dando como resultado una presencia significativa de *Limos inorgánicos de baja plasticidad*.

Por último, se debe agregar un símbolo de grupo al suelo de ser necesario, para ello, la figura #5 indica que para suelo arenoso se debe determinar si el porcentaje de grava es superior o inferior al 15%, para este caso particular de suelo, ambas muestras poseen más del 15% de partículas gravosas. En consecuencia, como la carta de plasticidad puso en evidencia la presencia de partículas limosas y no arcillosas, el suelo será clasificado con un SP-SM que corresponde a una *Arena mal graduada con limo y grava*. La simbología doble obedece a la afirmación de que “Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a las condiciones de frontera” (Juárez Badillo & Rodríguez, 2005, p.154).

#### **Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.**

Conforme a los datos expuestos en el *Anexo AQ*, se puede evidenciar el proceso a seguir para determinar la densidad seca de la muestra de suelo para cada molde a diferentes contenidos

de humedad. Estas densidades se graficaron juntamente con su correspondiente contenido de humedad, de esta manera, el contenido de humedad óptimo que obedece a la densidad máxima seca es de 4.75% para la muestra #1 y 4.50% para la muestra #2.

### **Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.**

Una vez realizados los trabajos de laboratorio se procedió con el ensayo de soporte californiano detallado en la metodología para tres moldes a diferentes energías de compactación. Debido a que, la máquina de carga proporciona resultados para cada 0.001mm de deformación, se tendrán muchos valores de la carga aplicada hasta alcanzar la deformación de 5.08mm requerida. En ese sentido, se ha respetado los valores de deformación sugeridos por la norma ASTM D1883 para realizar la gráfica del esfuerzo en función de la deformación.

Tabla #75: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [24 de Mayo muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.09	0.64
0.18	1.27
0.30	1.91
0.46	2.54
0.66	3.18
0.88	3.81
1.13	4.45
1.40	5.08

Tabla #76: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [24 de Mayo muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.10	0.64
0.16	1.27
0.28	1.91
0.45	2.54
0.63	3.18
0.86	3.81
1.10	4.45
1.39	5.08

Tabla #77: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [24 de Mayo muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.21	0.64
0.49	1.27
0.84	1.91
1.25	2.54
1.70	3.18
2.16	3.81
2.64	4.45
3.12	5.08

Tabla #78: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [24 de Mayo muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.19	0.64
0.47	1.27
0.81	1.91
1.25	2.54
1.72	3.18
2.14	3.81
2.61	4.45
3.12	5.08

Tabla #79: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [24 de Mayo muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.13	0.64
0.25	1.27
0.43	1.91
0.64	2.54
0.91	3.18
1.19	3.81
1.49	4.45
1.80	5.08

Tabla #80: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [24 de Mayo muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.11	0.64
0.23	1.27
0.41	1.91
0.64	2.54
0.89	3.18
1.17	3.81
1.47	4.45
1.80	5.08

En las tablas anteriores se puede evidenciar los datos obtenidos correspondientes al esfuerzo y a la deformación registrada por la máquina de carga y el deformímetro, por consiguiente, se procederá a graficar estos resultados para las diferentes energías de compactación en conjunto, para cada muestra.

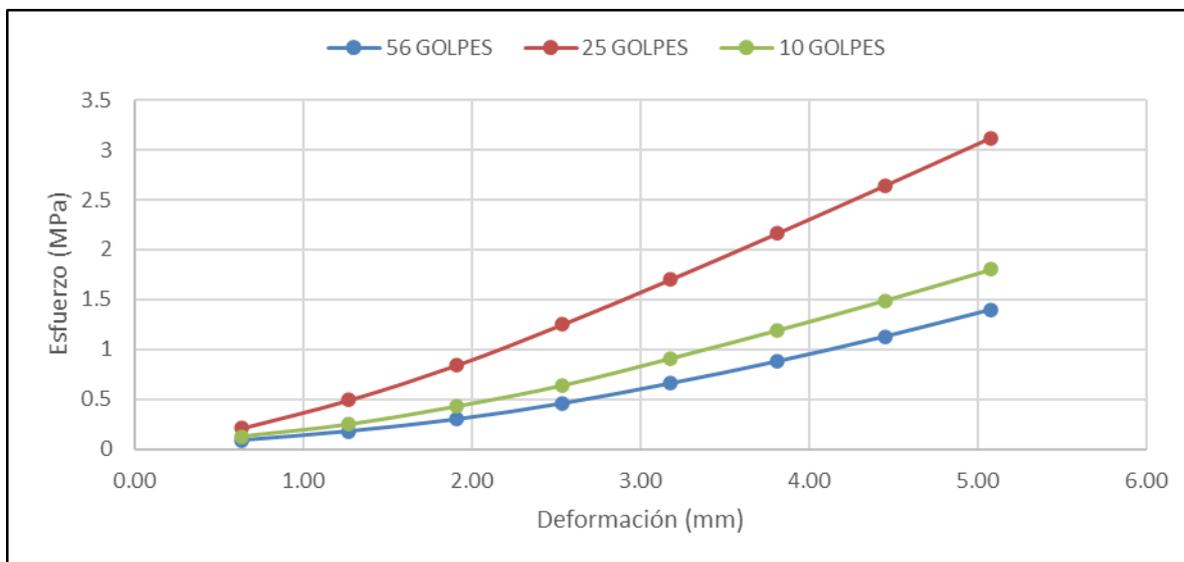


Figura #62: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [24 de Mayo muestra #1]

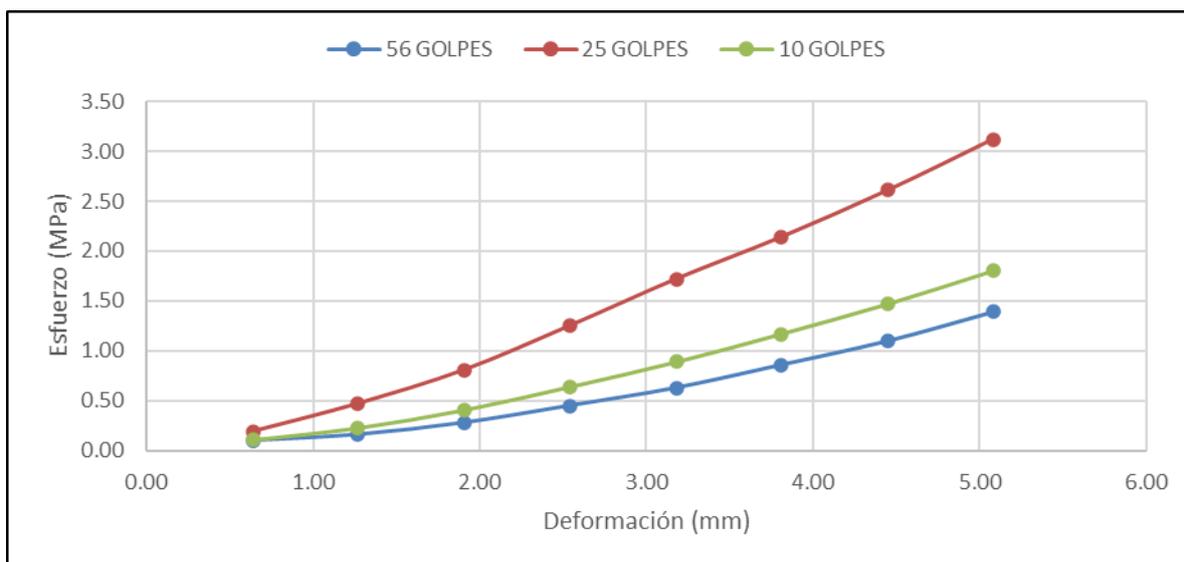


Figura #63: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [24 de Mayo muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #62 y figura #63, la línea que une los puntos de los resultados para esfuerzo y deformación no posee una concavidad pronunciada, de manera

que, los valores obtenidos de la máquina de carga no serán corregidos por su no linealidad de acuerdo con la norma ASTM D1883.

En consecuencia, se procederá con la determinación de la relación de soporte californiana con la ayuda de los esfuerzos patrón de 6.90MPa y 10.35MPa, correspondientes a una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.46 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 6.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{1.25 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 18.1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.64 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 9.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.40 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 13.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{3.12 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 30.1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.80 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 17.4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.45 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 6.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{1.25 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 18.1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{1.80 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 9.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.39 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 13.4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{3.12 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 30.1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.80 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 17.4\% \end{aligned}$$

Una vez determinada la relación de soporte para cada energía de compactación, se procede a obtener un único valor que pueda ser relacionado con la capacidad del suelo a una deformación de 2.54mm y 5.08mm respecto de la muestra patrón. Para ello se procede a determinar la densidad seca con los pesos de suelo compactado que se registraron antes de sumergir los moldes CBR para cada energía de compactación, y presentados en las tablas #81 y #82. De esta manera, se graficará la densidad seca en función de la relación de soporte californiana anteriormente calculada para determinar un único valor de % CBR, de acuerdo con, la densidad máxima seca del ensayo Proctor Estándar.

Tabla #81: Datos del ensayo de compactación para CBR [24 de Mayo muestra #1]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	4.75
<b>Peso de molde y base #1</b>	6089.6 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	6052.8 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	6120.6 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11206.2 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	11959.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	11933.8 g

Tabla #82: Datos del ensayo de compactación para CBR [24 de Mayo muestra #2]

<b>Datos compactación</b>	
<b>%w optimo</b>	5
<b>Peso de molde y base #1</b>	6089.6 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	6052.8 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	6120.6 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11002.3 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	11594.1 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	11844.7 g

Con los valores de la tabla #81 y tabla #82 se debe calcular en primera instancia el peso del suelo compactado, haciendo la diferencia entre el peso del molde incluida la base y la muestra, menos el peso del molde incluida la base. Luego, se determina la densidad húmeda con la relación del peso del suelo compactado y el volumen del molde CBR de  $2124\text{cm}^3$ , es importante mencionar que el volumen del molde puede ir variando respecto a la

incertidumbre presentada en la norma ASTM D1883. Por último, se calcula la densidad seca con la relación de la densidad húmeda y el contenido de humedad de la muestra, obteniendo los resultados presentados en la tabla #83 y tabla #84.

Tabla #83: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [24 de Mayo muestra #1]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	5116.6 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	5906.6 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	5813.2 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.75 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	2.02 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.99 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.67 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.93 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.90 g/cm <sup>3</sup>

Tabla #84: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [24 de Mayo muestra #2]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4912.7 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	5541.3 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	5724.1 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.91 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	2.16 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	2.23 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.82 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	2.05 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	2.12 g/cm <sup>3</sup>

Con las densidades antes determinadas, se procede a tomar el valor de la densidad máxima seca del *Anexo AQ*, para cada una de las dos muestras de suelo. Este valor será utilizado para determinar un porcentaje único de las relaciones de soporte californias calculadas para las diferentes energías de compactación. No obstante, únicamente se tomará el 95% de la densidad máxima seca para determinar un % CBR para las deformaciones de 2.54mm y 5.08mm (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003).

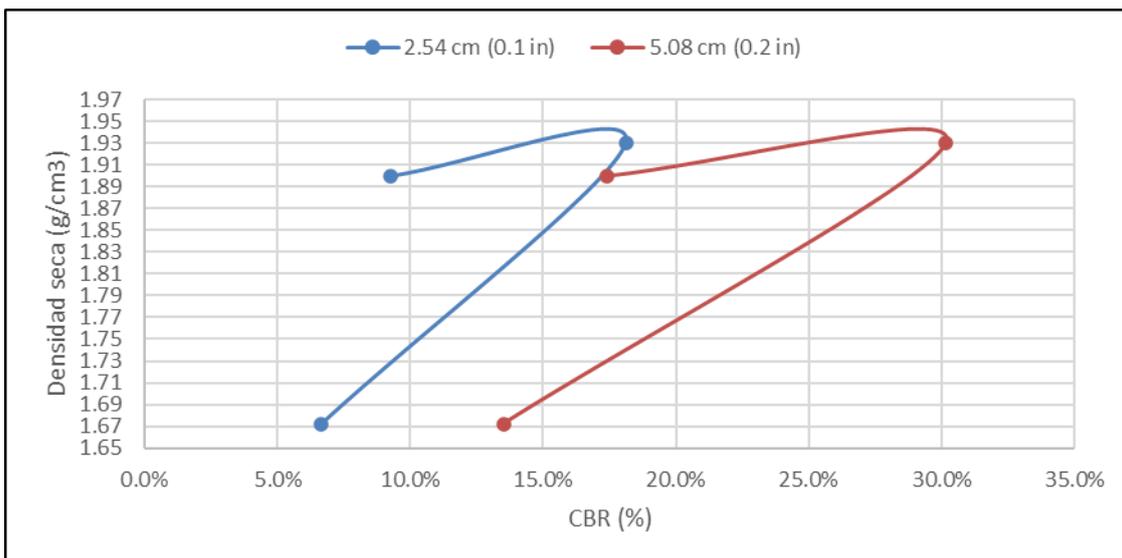


Figura #64: Gráfica para la determinación de la relación de soporte california [24 de Mayo muestra #1]

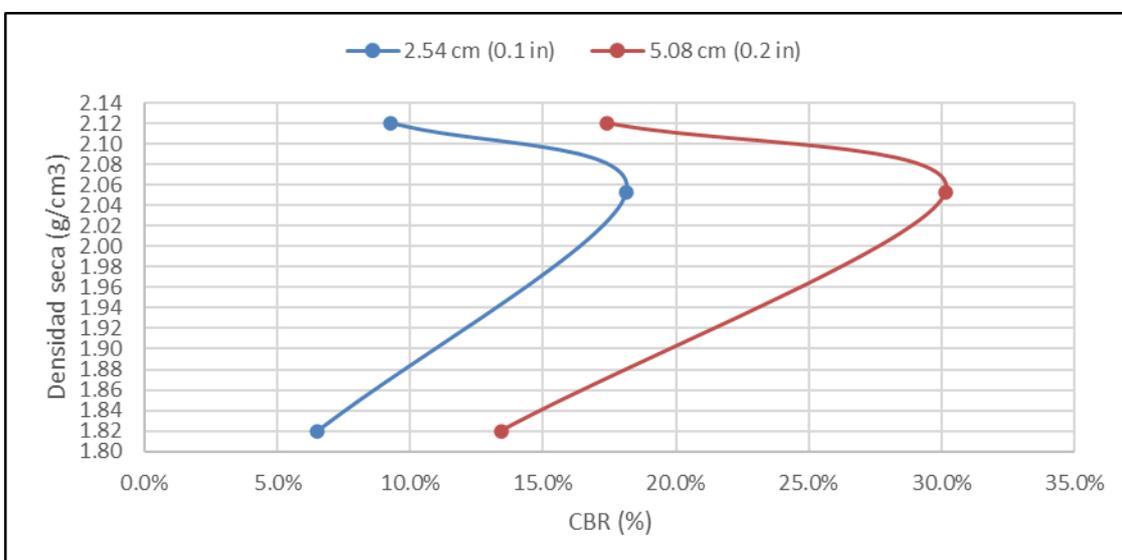


Figura #65: Gráfica para la determinación de la relación de soporte california [24 de Mayo muestra #2]

Finalmente, con la ayuda de la figura #64 y figura #65 se determinó que para la muestra #1 la relación de soporte california es de 14.5% y 25.0% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente. Para el caso de la muestra #2 la relación de soporte california es el 6.5% y 13.4% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

### Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.

Con los valores de la hoja de datos expuesta en el *Anexo M* y *Anexo N* se procederá a realizar un gráfico de dispersión el cual relacionará los valores de la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados. De esta manera, con una línea de tendencia se procederá a correlacionar los valores, de tal forma que, la pendiente de la ecuación lineal será el número DCP expresado en mm/golpe.

Tabla #85: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [24 de Mayo muestra #1]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0.0
5	5	40.0
5	10	55.2
5	15	75.0
10	25	135.2
5	30	204.0
5	35	215.0
10	45	243.0
5	50	262.0
5	55	302.0
1	56	309.0
1	57	311.0

Tabla #86: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [24 de Mayo muestra #2]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0
5	5	23.0
5	10	45.0
5	15	60.0
10	25	109.0
5	30	121.0
5	35	131.0
10	45	141.0
1	46	143.0
1	47	146.4
1	48	149.9
1	49	150.7

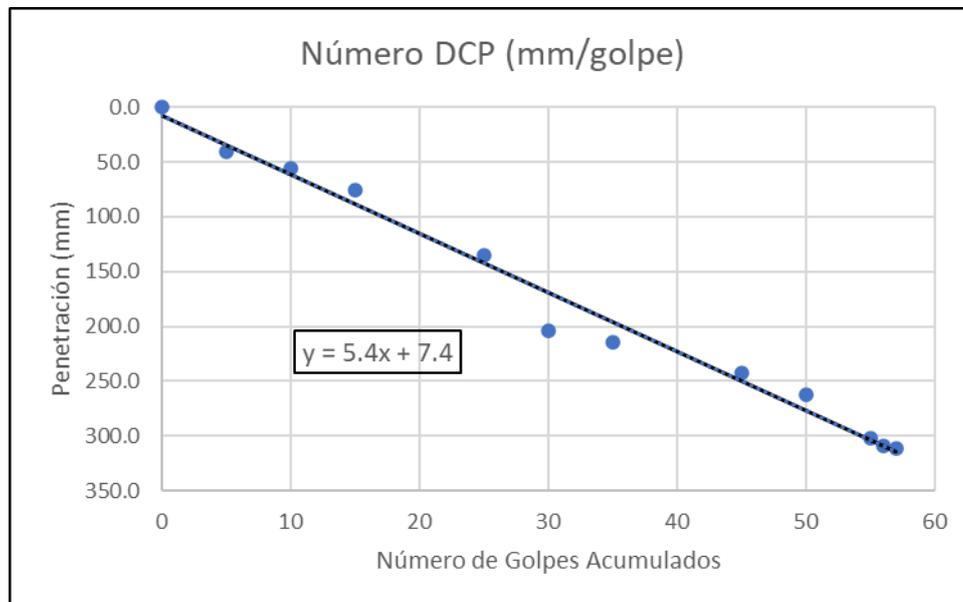


Figura #66: Gráfica para la determinación del número DCP [24 de Mayo muestra #1]

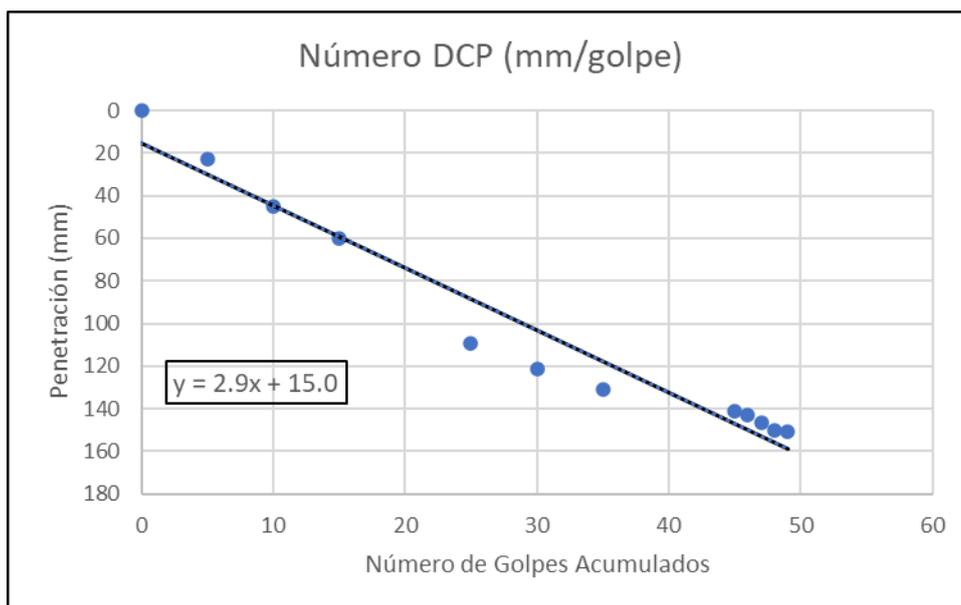


Figura #67: Gráfica para la determinación del número DCP [24 de Mayo muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #66 y figura #67 las pendientes de la ecuación a línea de tendencia indicarán el valor del número DCP, en ese sentido, se evidencia que para la muestra #1 el número DCP es de 5.4 mm/golpe y para la muestra #2 el número DCP es 2.9 mm/golpe.

## Calle Los Huertos

### Localización.



Figura #68: Ubicación satelital calle Los Huertos. Recuperado de

<https://www.google.com.ec/maps>

### **Tamizado en peso de la muestra representativa.**

Una vez tamizada las muestras a través de los tamices estándar, se registra el peso del material retenido de los tamices, con ello, se caracteriza porcentualmente el peso retenido parcial, retenido acumulado y peso del material pasante. Con los resultados obtenidos del material pasante para cada una de las aberturas de los tamices, se ha realizado una curva granulométrica representada en el *Anexo AR*. A partir de esta curva granulométrica podemos determinar gráficamente el diámetro de las partículas que en mayor parte está presente en la muestra representativa, no obstante, los diámetros de partículas más relevantes para la clasificación de suelos son los que comprenden el 60, 30 y 10% del total de la muestra. Por tanto, al determinar gráficamente los valores del diámetro de las partículas se obtiene que 10.3mm, 3.5mm, 1.0mm y 10.1mm, 2.8mm y 0.23mm corresponden al 60, 30 y 10% de la muestra #1 y muestra #2, respectivamente.

### **Determinación del límite líquido.**

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, el límite líquido corresponde al porcentaje de humedad en el que el suelo cambia de estado plástico a líquido. Por consiguiente, con el respaldo de los cálculos mostrados en el *Anexo AS* se procedió a determinar el límite líquido del suelo graficando una línea de tendencia entre el contenido de humedad y su respectivo número de golpes, con esta línea de tendencia se estableció una ecuación con la que se determinará analíticamente el contenido de humedad para 25 golpes de la Copa Casagrande, dando como resultado que con un 25.5% de contenido de humedad, se consigue llegar al límite líquido de la muestra #1, para el caso de la muestra #2 indica que con un 29.8% de contenido de humedad el suelo de la calle Los Huertos cambia de estado plástico a líquido.

### **Determinación del límite plástico.**

De la misma forma que con el límite líquido, se han recolectado los datos correspondientes para la determinación del límite plástico del suelo, que de acuerdo con la teoría corresponde al contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico. Con los contenidos de humedad expuestos en el *Anexo AT* se realizó un promedio para determinar el límite plástico, en consecuencia, el valor corresponde al 23.1% de contenido de humedad para que la muestra #1, para el caso de la muestra #2 se indica que el valor corresponde al 28.3% de contenido de humedad para que el suelo alcance el límite plástico.

### **Determinación del Índice de plasticidad.**

En este punto se determina el índice de plasticidad para las dos muestras de suelo de la calle Los Huertos, la cual nos servirá para determinar el símbolo de grupo correspondiente para la clasificación de suelos.

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#1}} = 25.5\% - 23.1\% = 2.4\%$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = \text{Límite líquido} - \text{límite plástico}$$

$$\text{Índice de plasticidad}_{\text{muestra \#2}} = 29.8\% - 28.3\% = 1.5\%$$

### **Clasificación del suelo.**

Una vez determinada la granulometría de la muestra de suelo y la naturaleza de su porción cohesiva con los Límites de Atterberg, se procede con la clasificación de la muestra de suelo.

En primera instancia se debe analizar el porcentaje pasante del tamiz No.200, puesto que, el suelo tiene aproximadamente el 0% del porcentaje pasante por dicho tamiz, el suelo se trata de un suelo grueso para ambas muestras. Luego, se analiza el porcentaje pasante del tamiz No.4, el cual es el 31% para la muestra #1 y el 40% para la muestra #2 indicando que el tipo de suelo grueso es una grava y no una arena.

En este punto, la figura #3 junto con la figura #4 serán de utilidad para posicionar al suelo con un símbolo de grupo. En ese sentido, se pudo determinar que la tipología del suelo corresponde a un GW, es decir, *Gravel well graded o una Grava bien graduada*. De esta forma, con la carta de plasticidad se tomaron los valores del límite líquido y el índice de plasticidad para determinar que partículas finas se encuentran inmiscuidas en la muestra representativa, dando como resultado una presencia significativa de *Limos inorgánicos de baja plasticidad*.

Por último, se debe agregar un símbolo de grupo al suelo de ser necesario, para ello, la figura #5 indica que para suelo gravoso se debe determinar si el porcentaje de arena es superior o inferior al 15%, para este caso particular de suelo, ambas muestras poseen más del 15% de partículas arenosas. En consecuencia, como la carta de plasticidad puso en evidencia la presencia de partículas limosas y no arcillosas, el suelo será clasificado con un GW-GM que corresponde a una *Grava bien graduada con limo y arena*. La simbología doble obedece a la afirmación de que “Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a las condiciones de frontera” (Juárez Badillo & Rodríguez, 2005, p.154).

### **Determinación de la densidad máxima seca y contenido de humedad óptimo.**

Conforme a los datos expuestos en el *Anexo AU*, se puede evidenciar el proceso a seguir para determinar la densidad seca de la muestra de suelo para cada molde a diferentes contenidos

de humedad. Estas densidades se graficaron juntamente con su correspondiente contenido de humedad, de esta manera, el contenido de humedad óptimo que obedece a la densidad máxima seca es de 4.75% para la muestra #1 y 4.50% para la muestra #2.

### **Determinación del porcentaje de CBR mediante ensayo de laboratorio.**

Una vez realizados los trabajos de laboratorio se procedió con el ensayo de soporte california detallado en la metodología para tres moldes a diferentes energías de compactación. Debido a que, la máquina de carga proporciona resultados para cada 0.001mm de deformación, se tendrán muchos valores de la carga aplicada hasta alcanzar la deformación de 5.08mm requerida. En ese sentido, se ha respetado los valores de deformación sugeridos por la norma ASTM D1883 para realizar la gráfica del esfuerzo en función de la deformación.

Tabla #87: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Los Huertos muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.13	0.64
0.29	1.27
0.50	1.91
0.76	2.54
1.04	3.18
1.30	3.81
1.54	4.45
1.74	5.08

Tabla #88: Resultados del ensayo de carga para 56 golpes [Los Huertos muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.08	0.64
0.17	1.27
0.31	1.91
0.55	2.54
0.87	3.18
1.29	3.81
1.76	4.45
2.21	5.08

Tabla #89: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Los Huertos muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.14	0.64
0.29	1.27
0.43	1.91
0.55	2.54
0.66	3.18
0.76	3.81
0.84	4.45
0.93	5.08

Tabla #90: Resultados del ensayo de carga para 25 golpes [Los Huertos muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.10	0.64
0.25	1.27
0.52	1.91
0.85	2.54
1.14	3.18
1.39	3.81
1.63	4.45
1.84	5.08

Tabla #91: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Los Huertos muestra #1]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.09	0.64
0.13	1.27
0.17	1.91
0.21	2.54
0.25	3.18
0.29	3.81
0.33	4.45
0.37	5.08

Tabla #92: Resultados del ensayo de carga para 10 golpes [Los Huertos muestra #2]

<b>Esfuerzo (MPa)</b>	<b>Def (mm)</b>
0.10	0.64
0.20	1.27
0.30	1.91
0.37	2.54
0.44	3.18
0.49	3.81
0.54	4.45
0.58	5.08

En las tablas anteriores se puede evidenciar los datos obtenidos correspondientes al esfuerzo y a la deformación registrada por la máquina de carga y el deformímetro, por consiguiente, se procederá a graficar estos resultados para las diferentes energías de compactación en conjunto, para cada muestra.

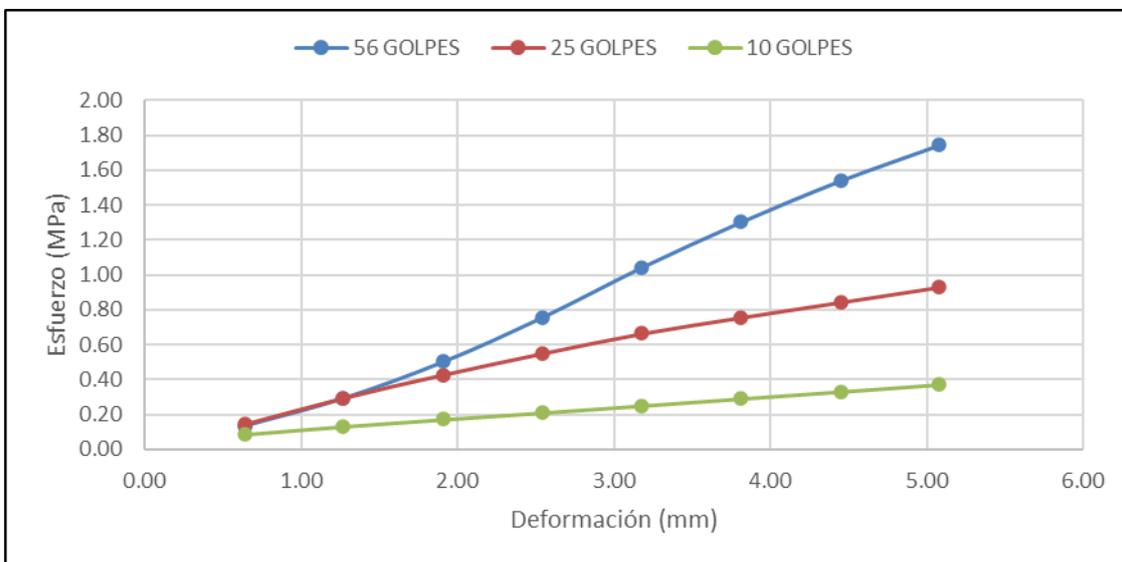


Figura #70: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Los Huertos muestra #1]

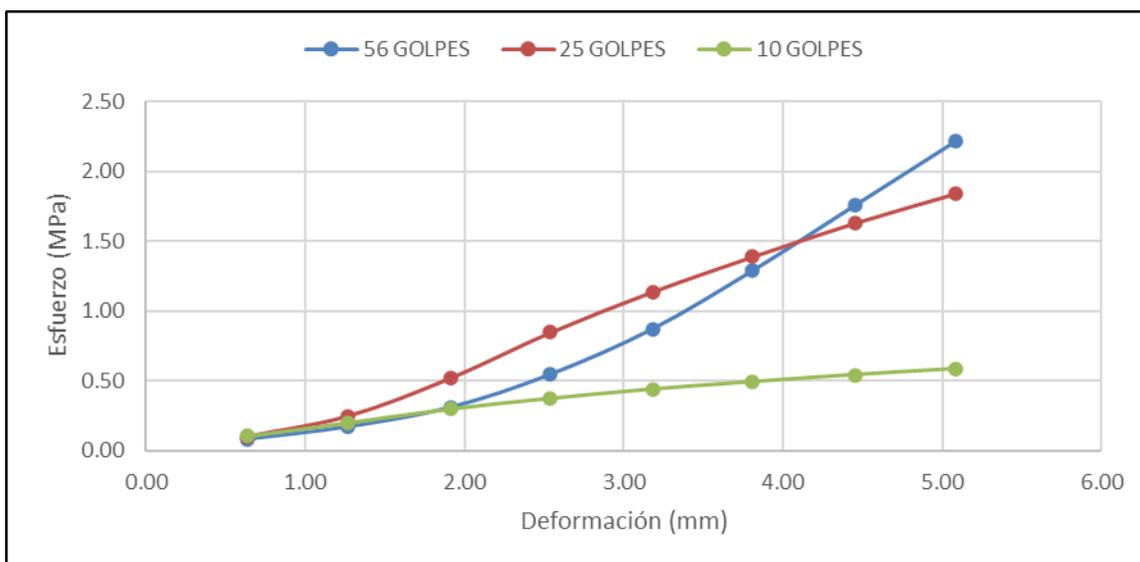


Figura #71: Gráfica Esfuerzo vs Deformación [Los Huertos muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #70 y figura #71, la línea que une los puntos de los resultados para esfuerzo y deformación no posee una concavidad pronunciada, de manera

que, los valores obtenidos de la máquina de carga no serán corregidos por su no linealidad de acuerdo con la norma ASTM D1883.

En consecuencia, se procederá con la determinación de la relación de soporte californiana con la ayuda de los esfuerzos patrón de 6.90MPa y 10.35MPa, correspondientes a una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.76 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 10.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.55 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 8.0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.21 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 3.0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.74 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 16.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.93 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 9.0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#1]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.37 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 3.6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.55 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 7.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.85 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 12.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (2.54mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (2.54mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (2.54mm)} * 100 \\ &= \frac{0.37 \text{ MPa}}{6.90 \text{ MPa}} * 100 = 5.4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{56 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[56 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{2.21 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 21.4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{25 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[25 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{1.84 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 17.8\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%CBR (5.08mm)_{10 \text{ GOLPES [muestra \#2]} } &= \frac{\text{Esfuerzo del suelo } (5.08mm)[10 \text{ GOLPES}]}{\text{Esfuerzo muestra patrón } (5.08mm)} * 100 \\ &= \frac{0.58 \text{ MPa}}{10.35 \text{ MPa}} * 100 = 5.6\% \end{aligned}$$

Una vez determinada la relación de soporte para cada energía de compactación, se procede a obtener un único valor que pueda ser relacionado con la capacidad del suelo a una deformación de 2.54mm y 5.08mm respecto de la muestra patrón. Para ello se procede a determinar la densidad seca con los pesos de suelo compactado que se registraron antes de sumergir los moldes CBR para cada energía de compactación, y presentados en las tablas #93 y #94. De esta manera, se graficará la densidad seca en función de la relación de soporte californiana anteriormente calculada para determinar un único valor de % CBR, de acuerdo con, la densidad máxima seca del ensayo Proctor Estándar.

Tabla #93: Datos del ensayo de compactación para CBR [Los Huertos muestra #1]

Datos compactación	
<b>%w optimo</b>	5
<b>Peso de molde y base #1</b>	7052.6 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	7059.2 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7371.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11272.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	11275.0 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	10615.6 g

Tabla #94: Datos del ensayo de compactación para CBR [Los Huertos muestra #2]

Datos compactación	
<b>%w optimo</b>	8.25
<b>Peso de molde y base #1</b>	7182.0 g
<b>Peso de molde y base #2</b>	7058.4 g
<b>Peso de molde y base #3</b>	7375.8 g
<b>Peso molde + base + muestra #1</b>	11548.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #2</b>	11251.4 g
<b>Peso molde + base + muestra #3</b>	11226.2 g

Con los valores de la tabla #93 y tabla #94 se debe calcular en primera instancia el peso del suelo compactado, haciendo la diferencia entre el peso del molde incluida la base y la muestra, menos el peso del molde incluida la base. Luego, se determina la densidad húmeda con la relación del peso del suelo compactado y el volumen del molde CBR de  $2124\text{cm}^3$ , es importante mencionar que el volumen del molde puede ir variando respecto a la

incertidumbre presentada en la norma ASTM D1883. Por último, se calcula la densidad seca con la relación de la densidad húmeda y el contenido de humedad de la muestra, obteniendo los resultados presentados en la tabla #95 y tabla #96.

Tabla #95: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Los Huertos muestra #1]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4220.2 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4215.8 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	3244.2 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.74 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.74 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.34 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.66 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.66 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.27 g/cm <sup>3</sup>

Tabla #96: Densidad máxima seca para cada energía de compactación [Los Huertos muestra #2]

<b>Peso suelo compactado #1</b>	4366.4 g
<b>Peso suelo compactado #2</b>	4193.0 g
<b>Peso suelo compactado #3</b>	3850.4 g
<b>Densidad húmeda #1</b>	1.88 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #2</b>	1.80 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad húmeda #3</b>	1.66 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #1</b>	1.74 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #2</b>	1.67 g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad seca #3</b>	1.53 g/cm <sup>3</sup>

Con las densidades antes determinadas, se procede a tomar el valor de la densidad máxima seca del *Anexo AU*, para cada una de las dos muestras de suelo. Este valor será utilizado para determinar un porcentaje único de las relaciones de soporte californias calculadas para las diferentes energías de compactación. No obstante, únicamente se tomará el 95% de la densidad máxima seca para determinar un % CBR para las deformaciones de 2.54mm y 5.08mm (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003).

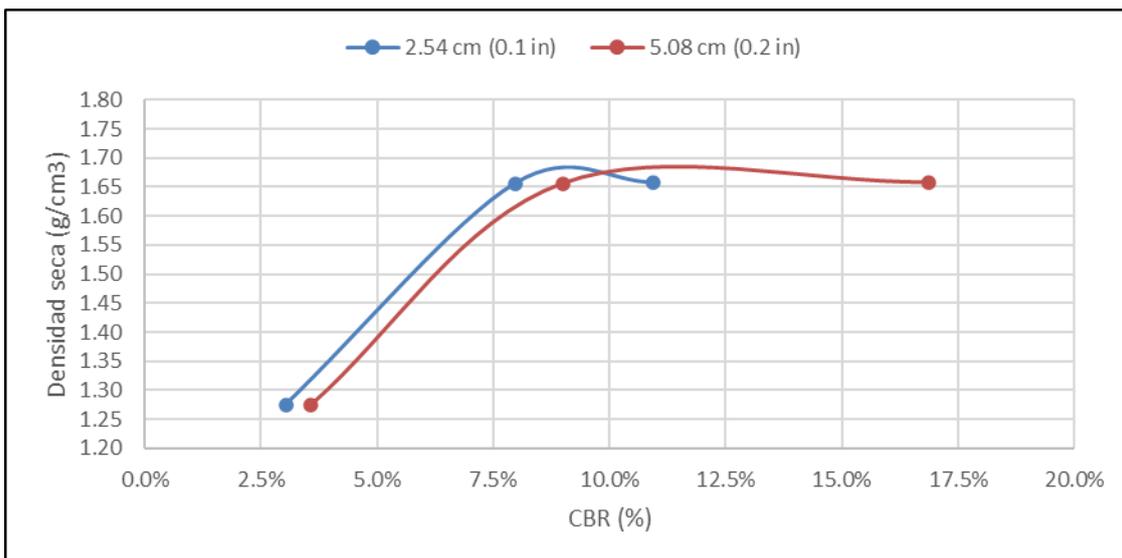


Figura #73: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [Los Huertos muestra #1]

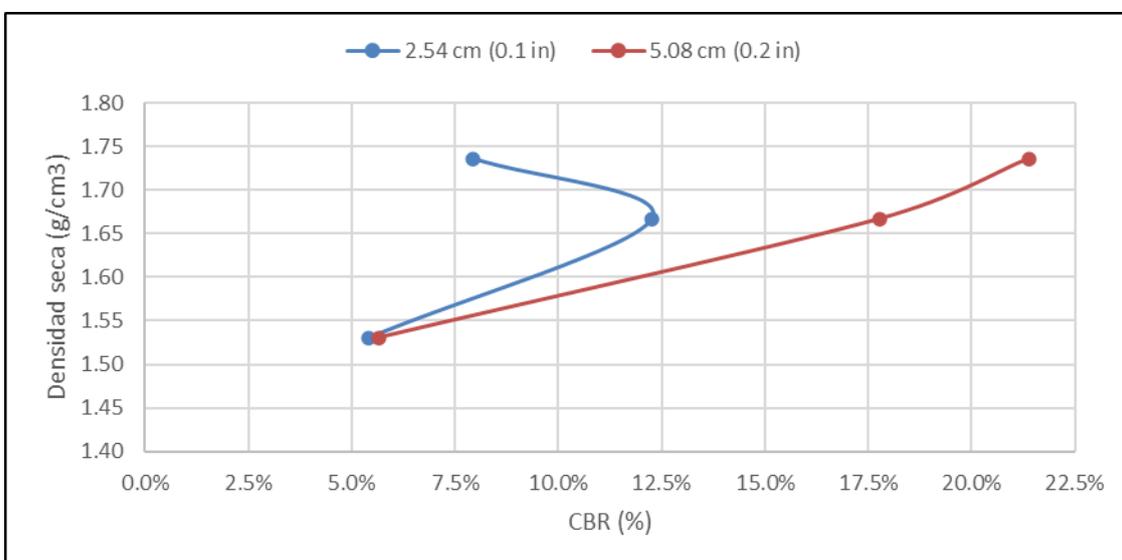


Figura #74: Gráfica para la determinación de la relación de soporte californiana [Los Huertos muestra #2]

Finalmente, con la ayuda de la figura #73 y figura #74 se determinó que para la muestra #1 la relación de soporte californiana es de 6.3% y 6.5% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente. Para el caso de la muestra #2 la relación de soporte californiana es el 6.3% y 7.5% para una deformación de 2.54mm y 5.08mm, respectivamente.

### Determinación del número DCP mediante ensayo in situ.

Con los valores de la hoja de datos expuesta en el *Anexo K* y *Anexo L* se procederá a realizar un gráfico de dispersión el cual relacionará los valores de la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados. De esta manera, con una línea de tendencia se procederá a correlacionar los valores, de tal forma que, la pendiente de la ecuación lineal será el número DCP expresado en mm/golpe.

Tabla #97: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Los Huertos muestra #1]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0.0
5	5	80.0
5	10	165.0
5	15	290.0
10	25	320.0
5	30	640.0
5	35	830.0
5	40	840.0
1	41	845.0
1	42	850.4
1	43	852.2
1	44	853.8

Tabla #98: Datos de campo obtenidos mediante el ensayo DCP [Los Huertos muestra #2]

Cantidad de Golpes entre lecturas	Cantidad de Golpes acumulados	Penetración Acumulada (mm)
0	0	0
5	5	87.0
5	10	125.0
5	15	278.0
10	25	305.0
5	30	532.0
5	35	755.0
5	40	840.0
1	41	842.2
1	42	844.6
1	43	846.1
1	44	846.9

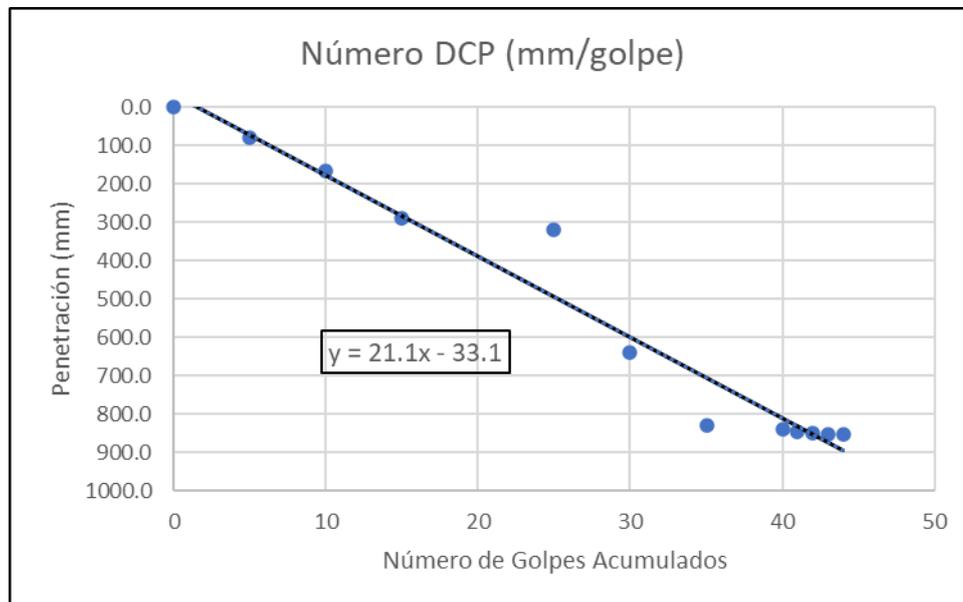


Figura #75: Gráfica para la determinación del número DCP [Los Huertos muestra #1]

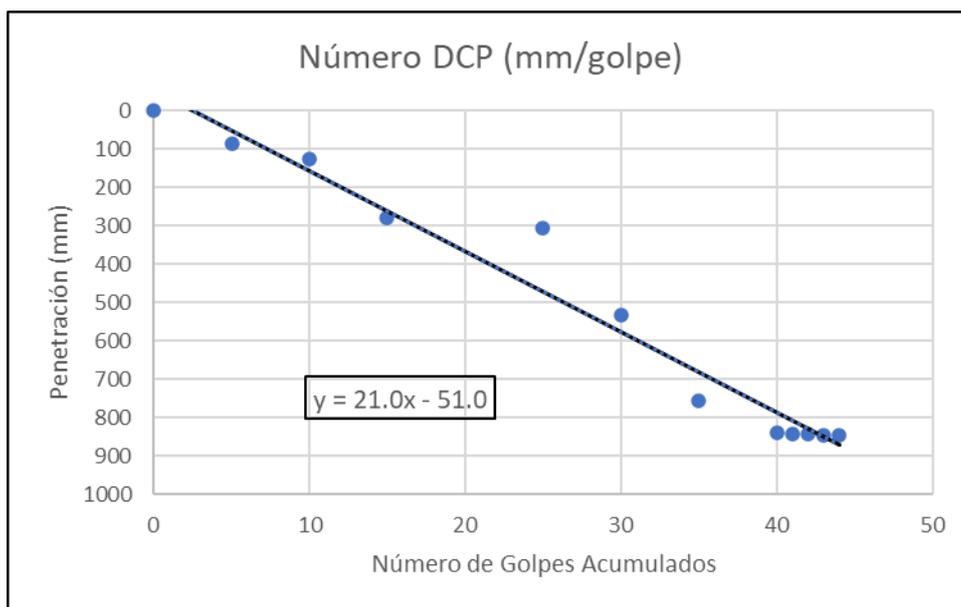


Figura #76: Gráfica para la determinación del número DCP [Los Huertos muestra #2]

Como se puede evidenciar en la figura #75 y figura #76 las pendientes de la ecuación a línea de tendencia indicarán el valor del número DCP, en ese sentido, se evidencia que para la muestra #1 el número DCP es de 21.1 mm/golpe y para la muestra #2 el número DCP es 21.0 mm/golpe.

### Correlación entre los ensayos (DCP) Penetrómetro Dinámico de Cono y (CBR) relación de Soporte california

Una vez determinadas las capacidades de soporte para cada una de las arteriales viales se procede con el desarrollo de la correlación entre los resultados tanto para CBR como para DCP, para ambas muestras extraídas por cada arteria vial.

Tabla #99: Resultados de capacidad de soporte para los suelos de subrasante

Arteria Vial	DCP (mm/golpe)		CBR (%)	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2
Santa Rosa	1	8	10.0	12.5
15 de Junio	13	8	33.0	34.0
24 de Mayo	5	3	14.5	6.5
Los Sauces	4	8	10.4	7.4
Pueblo Viejo	8	13	14.0	10.1
Los Huertos	21	21	6.3	6.3
Santo Domingo de Sevilla	4	15	2.8	5.5
San Pedruco	20	14	12.4	5.0

De la tabla #99 se han expuesto los resultados de CBR para una penetración de 2.54mm que son los valores de menor magnitud obtenidos. Por otra parte, para el número DCP se han puesto los resultados a una aproximación al entero más cercano.

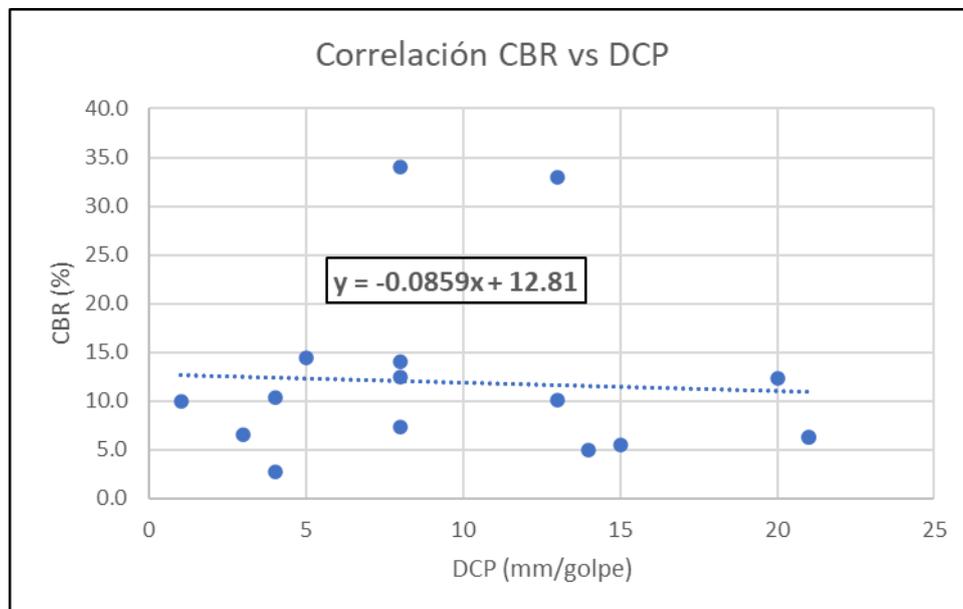


Figura #77: Correlación de la Relación de Soporte California y el número Penetrómetro Dinámico de Cono

Como se puede evidenciar en la figura #77, se ha procedido a realizar un gráfico de dispersión entre los resultados obtenidos para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante.

Al realizar una línea de tendencia entre los puntos que conforman el gráfico, se determina la ecuación que relaciona el porcentaje CBR con el número DCP. Dando como resultado que la adición de 12.81 más 0.086 veces el número DCP pueden aproximar el valor del porcentaje de CBR para los suelos de subrasante de Guayllabamba, con un valor de  $R^2$  alejado de uno.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalmente, se puede concluir que para todas las arterias viales se pudo determinar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante, mediante los ensayos (DCP) Penetrómetro Dinámico de Cono y (CBR) Relación de Soporte California. Según la teoría, los resultados de

las capacidades de los suelos de Guayllabamba es baja. Por esa razón, cuando se utilice estas capacidades en la implementación del diseño de pavimentos, se recomienda colocar sobre el nivel de subrasante capas granulares que den soporte a la capa de rodadura.

En ese sentido, con la ayuda de las capacidades de soporte de los suelos, tanto para CBR como para DCP, se determinó una correlación analítica entre ambos resultados para optimizar tiempo, inversión económica y logística. La correlación determinada indica que se puede obtener un valor de CBR de laboratorio aproximado, con la adición de 12.81 más 0.086 veces el número DCP en campo. Esta correlación solo deberá usarse para suelos con las características granulométricas, capacidad de soporte y plasticidad similares a los suelos de Guayllabamba. El valor de la correlación estadística  $R^2$  entre ambos resultados es alejado de uno, por lo que se recomienda realizar mucho más calicatas por arteria vial para aproximar este valor a la unidad.

Por último, se pudo clasificar el tipo del suelo mediante los ensayos de plasticidad y granulometría, con los cuales se puede decir que la mayoría de las arterias viales son suelos arenosos mal graduados con partículas limosas o SP-SM, tomando doble simbología por su ubicación de frontera en la carta de plasticidad. Se presume que las partículas limosas son las detonantes para que la capacidad de soporte sea baja, no obstante, en el ensayo Proctor Estándar se pudo evidenciar que se necesita en promedio un 6% de contenido de humedad para que el suelo pueda alcanzar su máxima resistencia mediante compactación. De esta manera, se han cumplido satisfactoriamente con los objetivos con una evidencia sólida en los resultados.

### **Referencias Bibliográficas**

ASTM Designación: D 698 *Método de prueba estándar para características de compactación del suelo en laboratorio a un esfuerzo normal 600 kN\*m/m<sup>3</sup> – 12400 ft\*lb/ft<sup>3</sup>* (Aprobación 2018).

ASTM Designación: D 1883 *Método de ensayo estándar para el Índice de Soporte California en suelos compactados en laboratorio* (Aprobación 2016).

ASTM Designación: D 2487 *Práctica para la clasificación de suelos para fines ingenieriles (Sistema Unificado para la Clasificación de Suelos)* (Aprobación 2011).

ASTM Designación: D 4318 *Método de ensayo estándar para el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad en los suelos* (Aprobación 2017).

ASTM Designación: D 6951 *Método de ensayo estándar para el uso del penetrómetro dinámico de cono en estructuras de pavimento* (Aprobación 2018).

Berry, P., & Reid, D. (1993). *Mecánica de Suelos*. Salford: McGraw-Hill.

Das, B. (1994). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Sacramento : Brooks/Cole Publishing Company.

Juárez Badillo, E., & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de Suelos*. Ciudad de México: Limusa.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras*. Quito: T.A.M.S-ASTEC.

**ANEXO A: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE SANTA ROSA #1]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 12 de febrero 2021			
Ubicación: Calle Santa Rosa #1				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 16°C Nublado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	55			1			
5	59			1			
5	68			1			
10	85			1			
5	90			1			
5	95			1			
10	125			1			
5	128			1			
5	132			1			
5	136			1			
5	140			1			

**ANEXO B: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE SANTA ROSA #2]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 12 de febrero del 2021			
Ubicación: Calle Santa Rosa #2				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 16°C Nublado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	92			1			
5	152			1			
5	190			1			
10	260			1			
5	263			1			
5	322			1			
10	380			1			
5	456			1			
5	503			1			
5	515			1			
5	525			1			

**ANEXO C: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE 15 DE JUNIO #1]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 12 de febrero 2021			
Ubicación: Calle 15 de Junio #1				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 17°C Nublado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	90			1			
5	110			1			
5	170			1			
10	251			1			
5	305			1			
5	372			1			
10	405			1			
5	601			1			
5	662			1			
5	850			1			
5	912			1			

**ANEXO D: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE 15 DE JUNIO #2]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 12 de febrero del 2021			
Ubicación: Calle 15 de Junio #2				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 17°C Nublado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	98			1			
5	129			1			
5	190			1			
10	295			1			
5	330			1			
5	355			1			
10	415			1			
5	450			1			
5	495			1			
5	546			1			
5	564			1			

**ANEXO E: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE LOS SAUCES #1]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 16 de febrero 2021			
Ubicación: Calle Los Sauces #1				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 18°C Soleado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	75			1			
5	98			1			
5	110			1			
10	130			1			
5	145			1			
5	180			1			
10	212			1			
5	231			1			
5	251			1			
5	273			1			
5	302			1			

**ANEXO F: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE LOS SAUCES #2]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 16 de febrero 2021			
Ubicación: Calle Los Sauces #2				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 18°C Soleado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	46			1			
5	87			1			
5	135			1			
10	205			1			
5	290			1			
5	334			1			
10	604			1			
5	687			1			
5	739			1			
5	816			1			
5	851			1			

**ANEXO G: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE SANTO DOMINGO DE SEVILLA #1]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 16 de febrero 2021			
Ubicación: Calle Santo Domingo de Sevilla #1				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 15°C Soleado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	69			1			
5	128			1			
5	148			1			
10	179			1			
5	192			1			
5	201			1			
10	205			1			
5	208			1			
5	302			1			
5	305			1			
5	311			1			

**ANEXO H: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE SANTO DOMINGO DE SEVILLA #2]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 16 de febrero 2021			
Ubicación: Calle Santo Domingo de Sevilla #2				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 15°C Soleado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	50			1			
5	85			1			
5	134			1			
10	289			1			
5	363			1			
5	423			1			
10	602			1			
5	738			1			
5	823			1			
5	902			1			
5	905			1			

**ANEXO I: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE PUEBLO VIEJO #1]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 21 de febrero 2021			
Ubicación: Calle Pueblo Viejo #1				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 15°C Despejado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	70			1			
5	110			1			
5	165			1			
10	255			1			
5	280			1			
5	315			1			
10	405			1			
5	430			1			
5	455			1			
5	461			1			
5	491			1			

**ANEXO J: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE PUEBLO VIEJO #2]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 21 de febrero 2021			
Ubicación: Calle Pueblo Viejo #2				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 15°C Despejado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	-	-	-	-	-	-	-
5	89			1			
5	131			1			
5	274			1			
10	432			1			
5	532			1			
5	574			1			
10	657			1			
5	703			1			
5	745			1			
5	812			1			
5	880			1			

**ANEXO K: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE LOS HUERTOS #1]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 02 de Marzo 2021			
Ubicación: Calle Los Huertos #1				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 13º Nublado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	0	-	-	-	-	-	-
5	5			1			
5	10			1			
5	15			1			
10	25			1			
5	30			1			
5	35			1			
5	40			1			
1	41			1			
1	42			1			
1	43			1			
1	44			1			

**ANEXO L: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [CALLE LOS HUERTOS #2]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 02 de Marzo 2021			
Ubicación: Calle Los Huertos #2				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 13º Nublado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	0	-	-	-	-	-	-
5	5			1			
5	10			1			
5	15			1			
10	25			1			
5	30			1			
5	35			1			
5	40			1			
1	41			1			
1	42			1			
1	43			1			
1	44			1			

**ANEXO M: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [24 DE MAYO #1]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 12 de Marzo 2021			
Ubicación: Calle 24 de mayo #1				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 18º Despejado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	0	-	-	-	-	-	-
5	5			1			
5	10			1			
5	15			1			
10	25			1			
5	30			1			
5	35			1			
10	45			1			
5	50			1			
5	55			1			
1	56			1			
1	57			1			

**ANEXO N: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [24 DE MAYO #2]**

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 12 de Marzo 2021			
Ubicación: Calle 24 de mayo #2				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 18º Despejado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	0	-	-	-	-	-	-
5	5			1			
5	10			1			
5	15			1			
10	25			1			
5	30			1			
5	35			1			
10	45			1			
1	46			1			
1	47			1			
1	48			1			
1	49			1			

### ANEXO Ñ: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [SAN PEDRUCO #1]

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 12 de Marzo 2021			
Ubicación: Calle San pedruco #1				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 15º Despejado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	0			-			
5	5			1			
5	10			1			
1	11			1			
5	16			1			
5	21			1			
5	26			1			
5	31			1			
1	32			1			
1	33			1			
1	34			1			
1	35			1			

### ANEXO O: HOJA DE DATOS ENSAYO DCP [SAN PEDRUCO #2]

HOJA DE DATOS DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER)							
Proyecto: Guayllabamba				Fecha: 12 de Marzo 2021			
Ubicación: Calle San pedruco #2				Personal: Iara Gordillo y Daniel Barreno			
Profundidad inicial: 0 mm				Peso del mazo: 8 Kg (17.6 lb)			
Clasificación del suelo:				Condición del tiempo: 15º Despejado			
Clasificación del pavimento: no aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de Golpes entre lecturas	Penetración Acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm/golpe)	Factor de corrección mazo	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	CBR (%)	Humedad (%)
0	0			-			
5	5			1			
5	10			1			
5	15			1			
5	20			1			
5	25			1			
5	30			1			
5	35			1			
5	40			1			
5	45			1			
5	50			1			
1	51			1			

## ANEXO P: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [LOS SAUCES]

LOS SAUCES muestra 1						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	0.0	0.0	0%	0%	100%
9.5	3/8"	6.6	6.6	1%	1%	99%
4.75	No.4	67.8	74.4	7%	8%	92%
2	No.10	203.0	277.4	22%	30%	70%
0.85	No.20	464.8	742.2	50%	80%	20%
0.425	No.40	133.4	875.6	14%	95%	5%
0.250	No.60	2.2	877.8	0%	95%	5%
0.106	No.140	41.8	919.6	5%	99%	1%
0.075	No.200	5.6	925.2	1%	100%	0%
Σ		925.2				

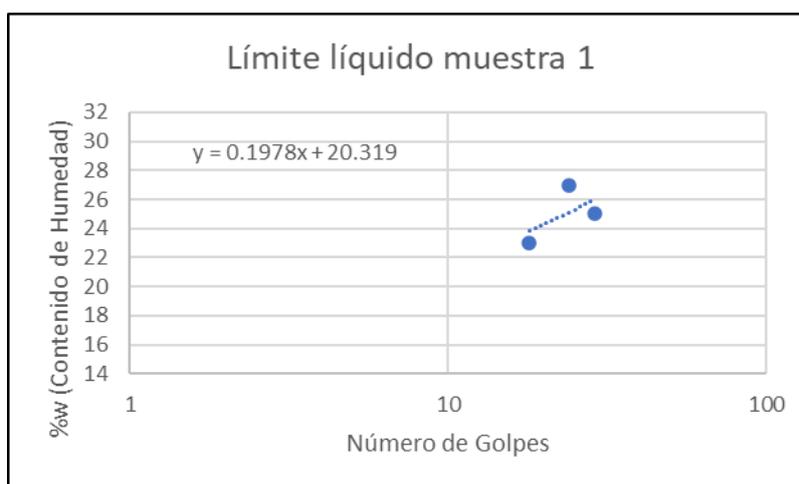


Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	0.0	0.0	0%	0%	100%
9.5	3/8"	48.4	48.4	4%	4%	96%
4.75	No.4	105.6	154.0	9%	13%	87%
2	No.10	102.2	256.2	9%	22%	78%
0.85	No.20	68.2	324.4	6%	27%	73%
0.425	No.40	374.8	699.2	32%	59%	41%
0.250	No.60	358.9	1058.1	30%	89%	11%
0.106	No.140	126.6	1184.7	11%	100%	0%
0.075	No.200	0.4	1185.1	0%	100%	0%
Σ		1185.1				

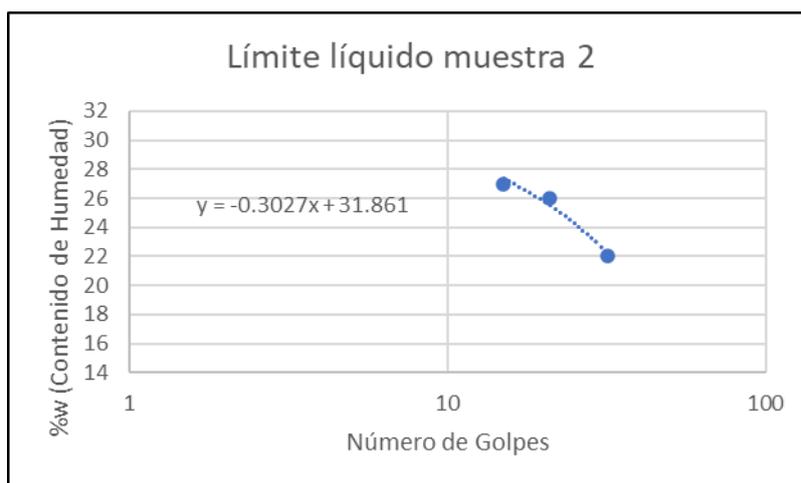


### ANEXO Q: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [LOS SAUCES]

Datos Límite Líquido muestra 1			
<b>Número del Recipiente</b>	BO	A5	G99
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.2	17.2	18.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	44.8	33.0	35.2
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	39.8	29.6	31.8
<b>Número de golpes</b>	18	24	29
<b>% w</b>	23.1%	27.4%	25.0%



Datos Límite Líquido muestra 2			
Número del Recipiente	B2	B3	B0
Peso de recipiente (g)	18.4	16	18.2
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	38.4	35.2	40.6
Peso de recipiente + suelo seco (g)	34.2	31.2	36.6
Número de golpes	15	21	32
% w	26.6%	26.3%	21.7%



#### ANEXO R: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [LOS SAUCES]

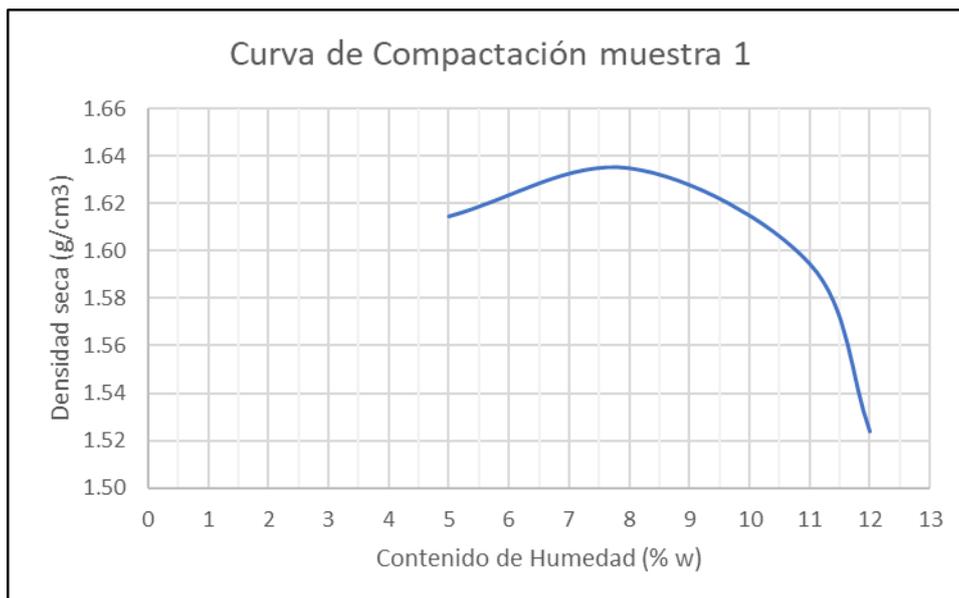
Datos Límite Plástico muestra 1		
Número del Recipiente	F11	B3
Peso de recipiente (g)	18.6	16.2
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	28.0	21.4
Peso de recipiente + suelo seco (g)	26.2	20.4
% w	23.7%	23.8%

Datos Límite Plástico muestra 2		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	A5
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.8	17.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	28	25.2
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	26.2	23.7
<b>% w</b>	24.3%	23.1%

### ANEXO S: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [LOS SAUCES]

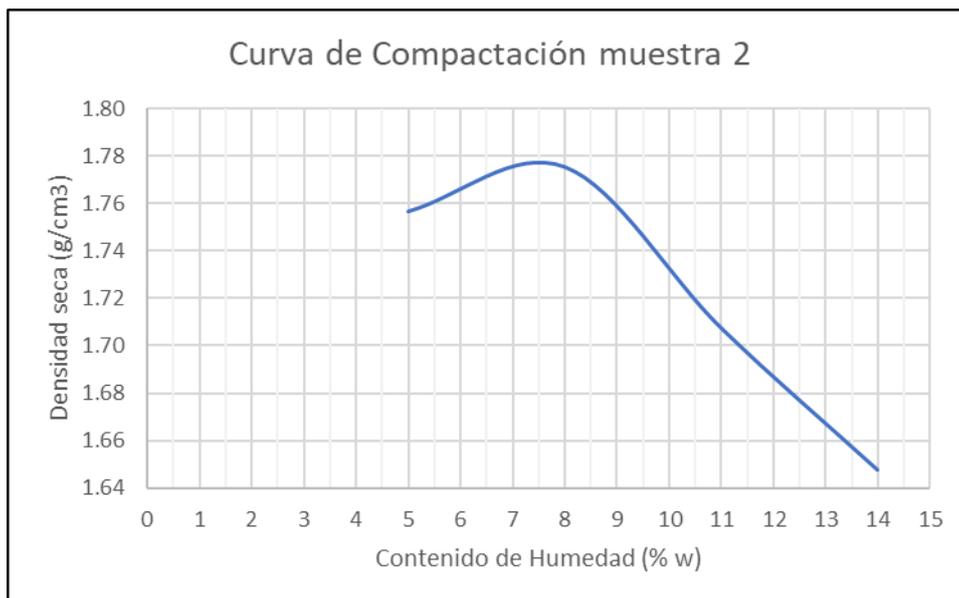
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 1				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3520.2	5	1921	943.3
#2	3586.6	8	1921	943.3
#3	3590.6	11	1921	943.3
#4	3530.8	12	1921	943.3

Molde #1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3520.2	5	1599.2	1.70	1.61
Molde #2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3586.6	8	1665.6	1.77	1.63
Molde #3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3590.6	11	1669.6	1.77	1.59
Molde #4				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3530.8	12	1609.8	1.71	1.52



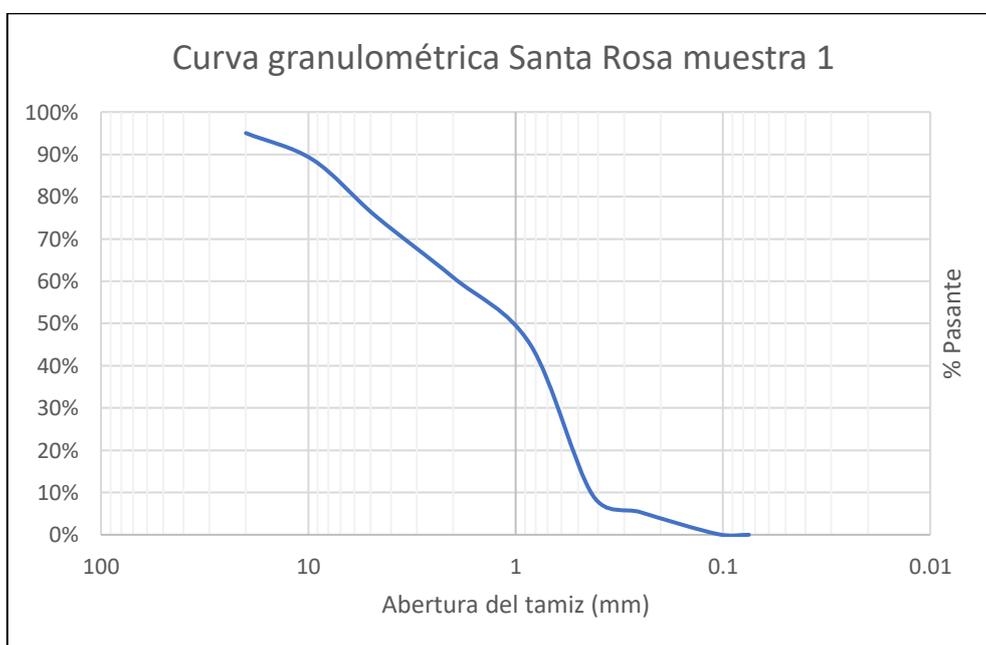
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 2				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3669.0	5	1929.2	943.3
#2	3737.8	8	1929.2	943.3
#3	3717.0	11	1929.2	943.3
#4	3701.0	14	1929.2	943.3

Molde #1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3669.0	5	1739.8	1.84	1.76
Molde #2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3737.8	8	1808.6	1.92	1.78
Molde #3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3717.0	11	1787.8	1.90	1.71
Molde #4				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3701.0	14	1771.8	1.88	1.65



### ANEXO T: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [SANTA ROSA]

SANTA ROSA muestra 1						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	57.6	57.6	5%	5%	95%
9.5	3/8"	73.2	130.8	6%	11%	89%
4.75	No.4	153.4	284.2	13%	25%	75%
2	No.10	168.8	453.0	15%	39%	61%
0.85	No.20	183.6	636.6	16%	55%	45%
0.425	No.40	413.0	1049.6	36%	91%	9%
0.250	No.60	46.4	1096.0	4%	95%	5%
0.106	No.140	60.0	1156.0	5%	100%	0%
0.075	No.200	1.8	1157.8	0%	100%	0%
Σ		1157.8				

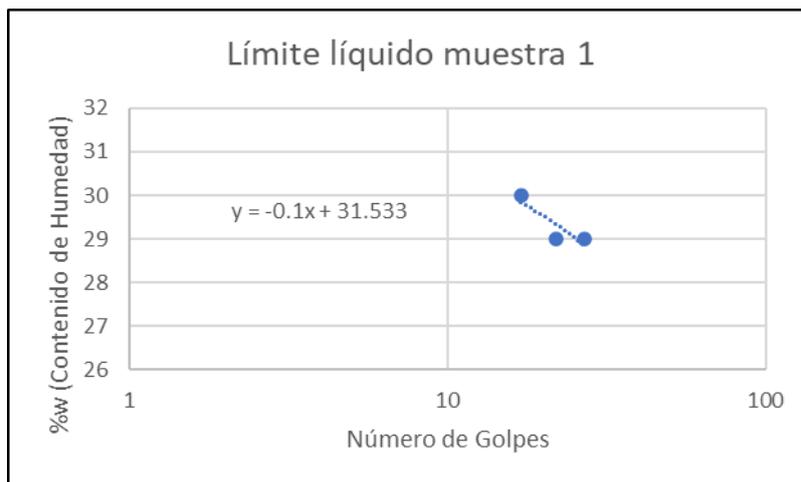


SANTA ROSA muestra 2						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	0.0	0.0	0%	0%	100%
9.5	3/8"	68.6	68.6	6%	6%	94%
4.75	No.4	128.8	197.4	12%	19%	81%
2	No.10	146.0	343.4	14%	32%	68%
0.85	No.20	418.0	761.4	39%	72%	28%
0.425	No.40	229.6	991.0	22%	93%	7%
0.250	No.60	45.4	1036.4	4%	97%	3%
0.106	No.140	26.0	1062.4	2%	100%	0%
0.075	No.200	1.0	1063.4	0%	100%	0%
$\Sigma$		1063.4				

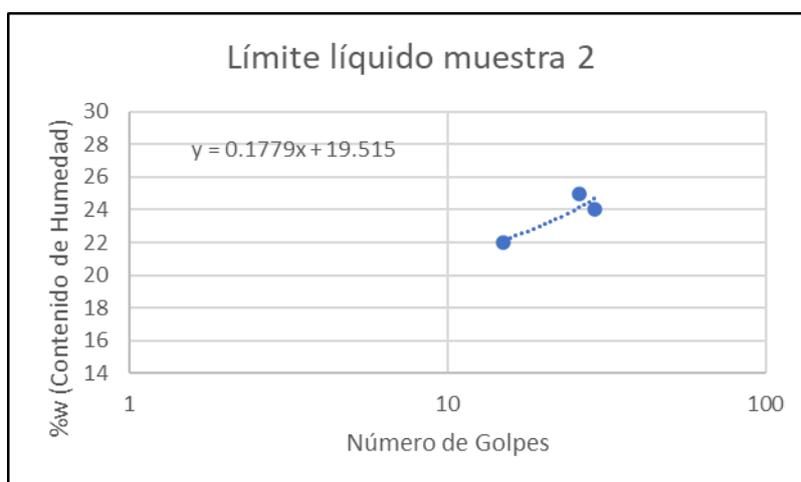


### ANEXO U: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [SANTA ROSA]

Datos Límite Líquido muestra 1			
<b>Número del Recipiente</b>	F11	G22	A5
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.6	18.2	17.5
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	43.6	40.2	41.8
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	38	35.2	36.2
<b>Número de golpes</b>	27	22	17
<b>% w</b>	29%	29%	30%



Datos Límite Líquido muestra 2			
<b>Número del Recipiente</b>	A5	BO	G99
<b>Peso de recipiente (g)</b>	17.4	18.2	18.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	36.4	22.2	24.4
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	33.0	21.4	23.2
<b>Número de golpes</b>	15	26	29
<b>% w</b>	22%	25%	24%



**ANEXO V: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [SANTA ROSA]**

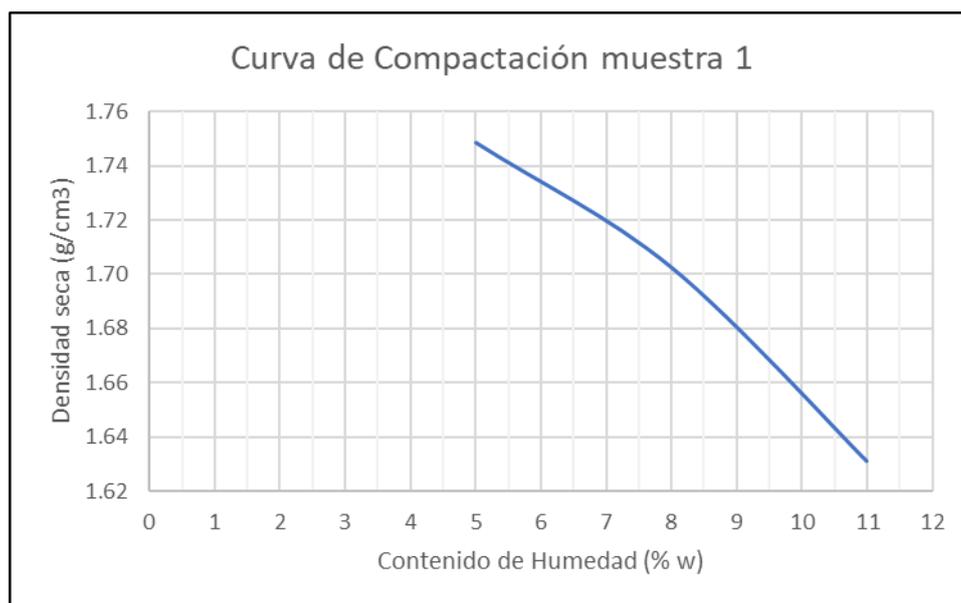
Datos Límite Plástico muestra 1		
<b>Número del Recipiente</b>	A1	1.0
<b>Peso de recipiente (g)</b>	16.4	18.8
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	28	25.2
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	25.8	23.9
<b>% w</b>	23%	25%

Datos Límite Plástico muestra 2		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	B3
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.8	16.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	21.6	19.2
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	21.2	18.6
<b>% w</b>	17%	25%

**ANEXO W: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [SANTA ROSA]**

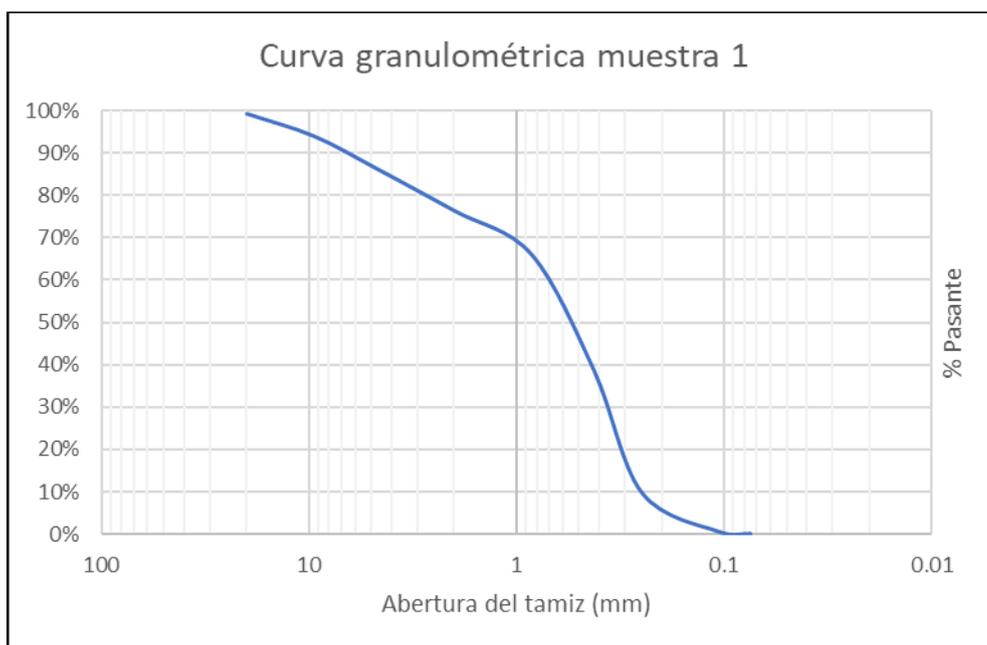
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 1				
<b>Espécimen</b>	<b>Peso molde + suelo compactado (g)</b>	<b>contenido de humedad (% w)</b>	<b>Peso del molde de compactación (g)</b>	<b>Volumen del molde de compactación (cm3)</b>
#1	3661.2	5	1929.2	943.3
#2	3663.8	8	1929.2	943.3
#3	3637.0	11	1929.2	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm3)	densidad seca (g/cm3)
3661.2	5	1732.0	1.84	1.75
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm3)	densidad seca (g/cm3)
3663.8	8	1734.6	1.84	1.70
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm3)	densidad seca (g/cm3)
3637.0	11	1707.8	1.81	1.63



**ANEXO X: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [SANTO DOMINGO DE SEVILLA]**

SANTO DOMINGO DE SEVILLA muestra 1						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	8.7	8.7	1%	1%	99%
9.5	3/8"	69.6	78.3	5%	6%	94%
4.75	No.4	101.0	179.3	8%	14%	86%
2	No.10	131.8	311.1	10%	24%	76%
0.85	No.20	136.4	447.5	10%	34%	66%
0.425	No.40	361.6	809.1	27%	61%	39%
0.250	No.60	380.6	1189.7	29%	90%	10%
0.106	No.140	121.6	1311.3	9%	100%	0%
0.075	No.200	5.8	1317.1	0%	100%	0%
$\Sigma$		1317.1				

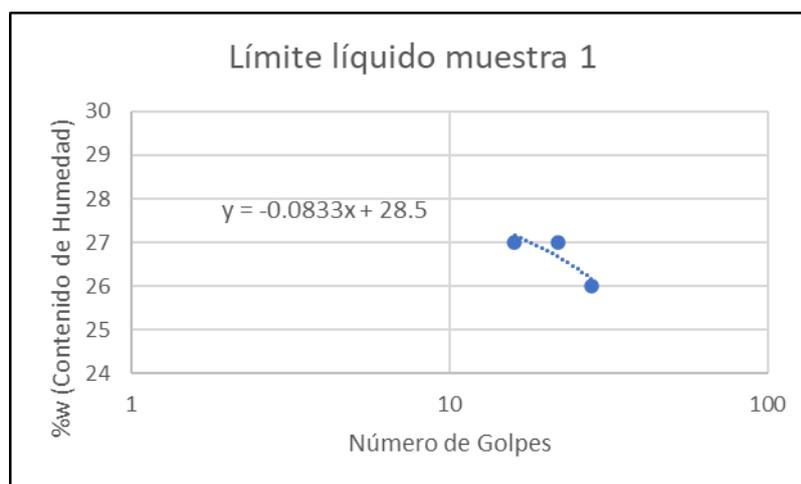


SANTO DOMINGO DE SEVILLA muestra 2						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	9.8	9.8	1%	1%	99%
9.5	3/8"	105.0	114.8	7%	7%	93%
4.75	No.4	173.6	288.4	11%	18%	82%
2	No.10	257.6	546.0	16%	34%	66%
0.85	No.20	511.6	1057.6	32%	66%	34%
0.425	No.40	470.4	1528.0	29%	95%	5%
0.250	No.60	58.8	1586.8	4%	99%	1%
0.106	No.140	19.6	1606.4	1%	100%	0%
0.075	No.200	2.2	1608.6	0%	100%	0%
$\Sigma$		1608.6				

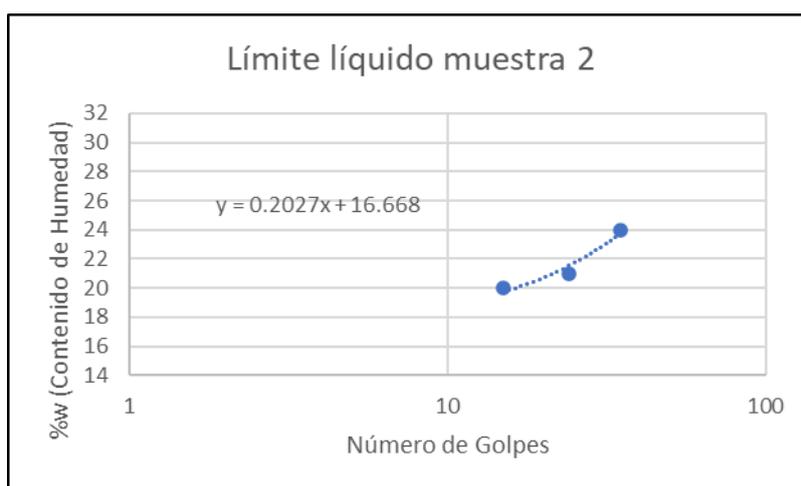


**ANEXO Y: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [SANTO DOMINGO DE SEVILLA]**

Datos Límite Líquido muestra 1			
<b>Número del Recipiente</b>	F11	G99	A5
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.6	18.2	17.5
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	45.2	47.4	45.2
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	39.6	41.2	39.4
<b>Número de golpes</b>	22	16	28
<b>% w</b>	27%	27%	26%



Datos Límite Líquido muestra 2			
<b>Número del Recipiente</b>	B0	A5	G99
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.2	17.2	18.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	35.6	32.6	32.6
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	32.7	29.9	29.8
<b>Número de golpes</b>	15	24	35
<b>% w</b>	20%	21%	24%



### ANEXO Z: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [SANTO DOMINGO DE SEVILLA]

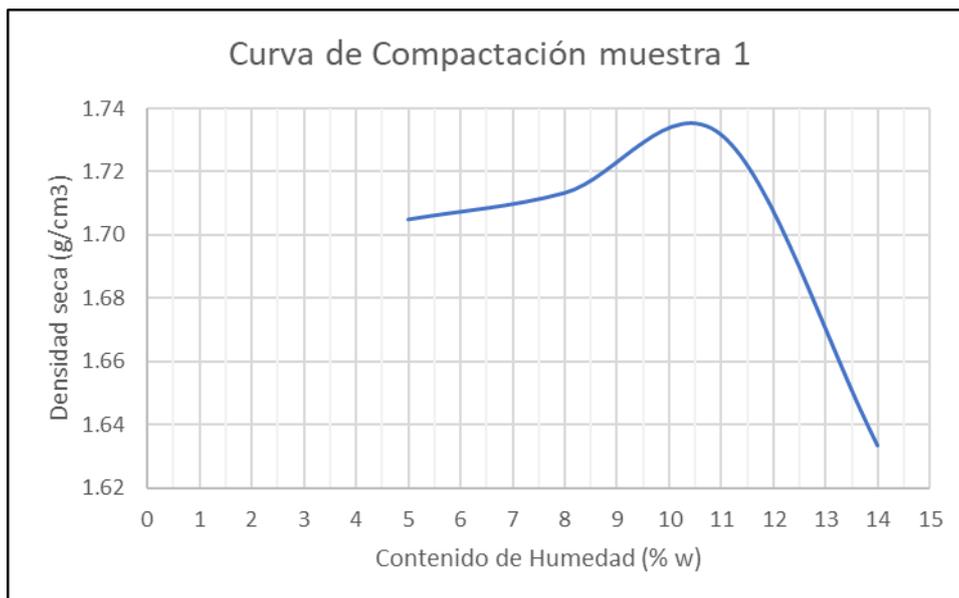
Datos Límite Plástico muestra 1		
<b>Número del Recipiente</b>	B3	1.0
<b>Peso de recipiente (g)</b>	16.3	18.8
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	32.4	37.8
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	29.2	33.8
<b>% w</b>	25%	27%

Datos Límite Plástico muestra 2		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	B3
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.6	16.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	27.2	23
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	25.8	21.7
<b>% w</b>	19%	24%

**ANEXO AA: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR  
[SANTO DOMINGO DE SEVILLA]**

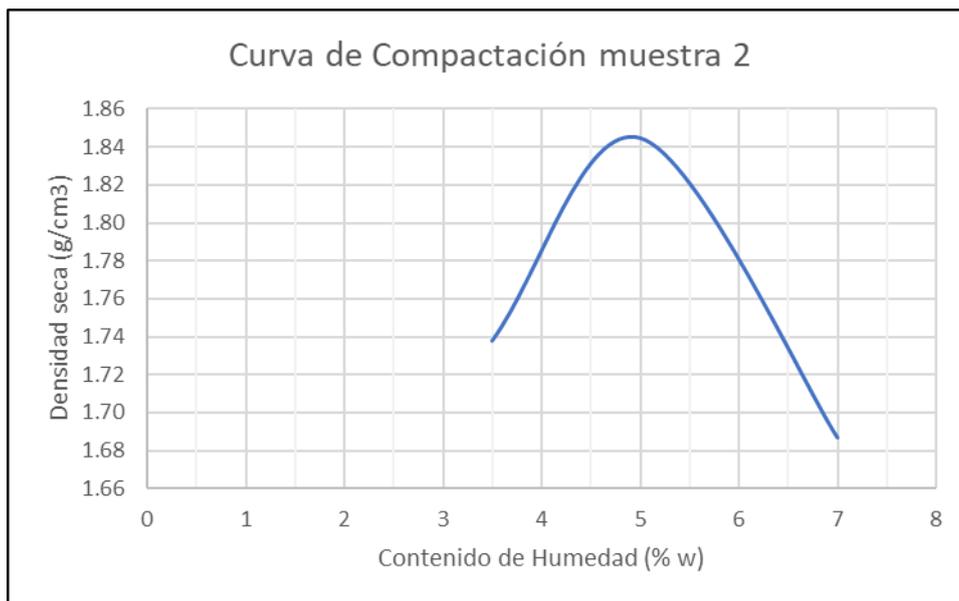
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 1				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3618.0	5	1929.2	943.3
#2	3674.8	8	1929.2	943.3
#3	3742.6	11	1929.2	943.3
#4	3685.8	14	1929.2	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3618.0	5	1688.8	1.79	1.71
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3674.8	8	1745.6	1.85	1.71
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3742.6	11	1813.4	1.92	1.73
#4				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3685.8	14	1756.6	1.86	1.63



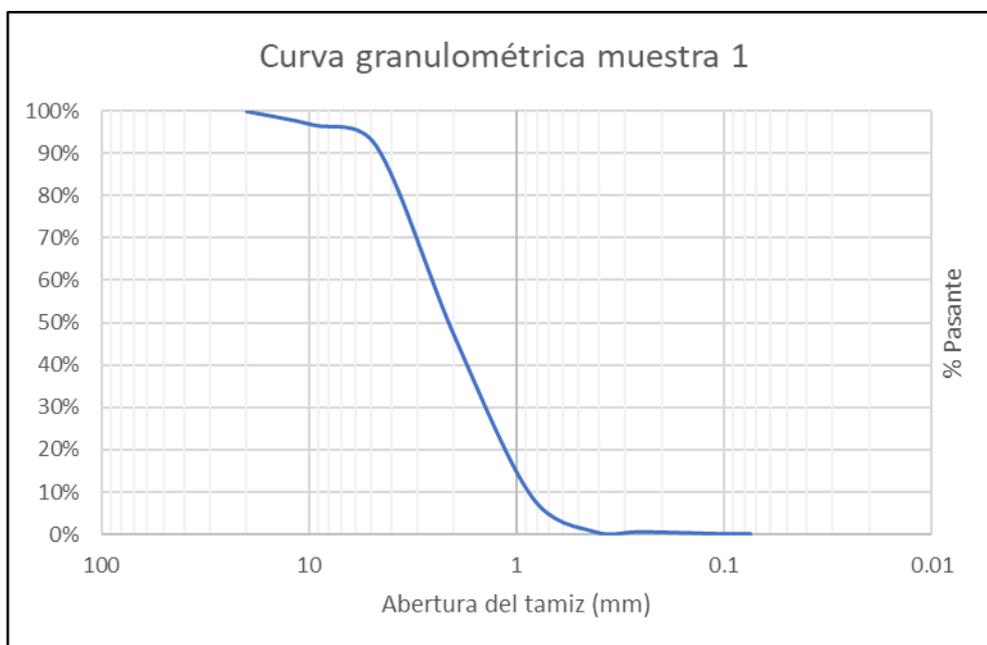
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 2				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3374.8	5	1921	943.3
#2	3594.0	8	1921	943.3
#3	3563.2	11	1921	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3618.2	3.5	1696.8	1.80	1.74
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3748.8	5	1827.4	1.94	1.84
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3624.0	7	1702.6	1.80	1.69

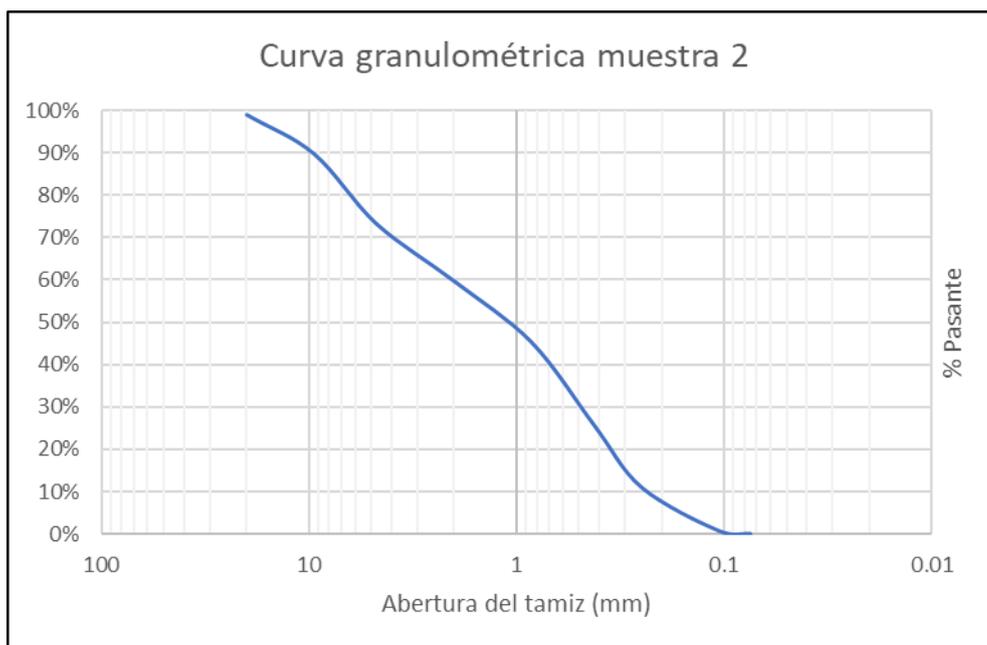


### ANEXO AB: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [15 DE JUNIO]

15 DE JUNIO muestra 1						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	0.0	0.0	0%	0%	100%
9.5	3/8"	31.8	31.8	3%	3%	97%
4.75	No.4	49.4	81.2	5%	8%	92%
2	No.10	443.6	524.8	45%	53%	47%
0.85	No.20	374.8	899.6	38%	91%	9%
0.425	No.40	82	981.6	8%	99%	1%
0.250	No.60	0.4	982.0	0%	100%	0%
0.106	No.140	4.4	986.4	0%	100%	0%
0.075	No.200	0.4	986.8	0%	100%	0%
Σ		986.8				

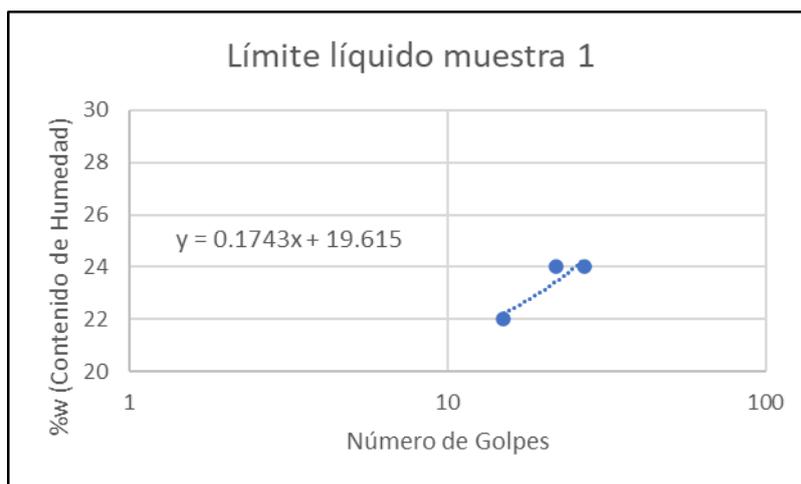


15 DE JUNIO muestra 2						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	18.0	18.0	1%	1%	99%
9.5	3/8"	139.6	157.6	9%	10%	90%
4.75	No.4	250.8	408.4	17%	27%	73%
2	No.10	206.6	615.0	14%	40%	60%
0.85	No.20	218.8	833.8	14%	55%	45%
0.425	No.40	297.0	1130.8	20%	74%	26%
0.250	No.60	224.4	1355.2	15%	89%	11%
0.106	No.140	155.4	1510.6	10%	99%	1%
0.075	No.200	9.4	1520.0	1%	100%	0%
$\Sigma$		1520.0				

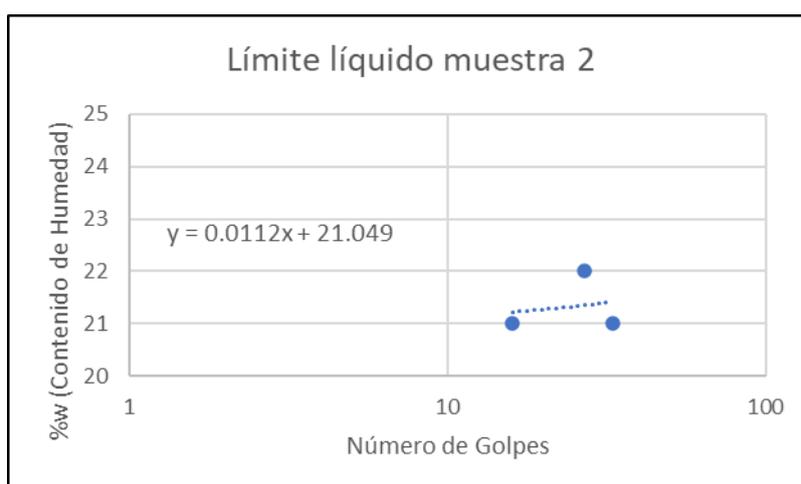


### ANEXO AC: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [15 DE JUNIO]

Datos Límite Líquido muestra 1			
<b>Número del Recipiente</b>	B0	A5	G99
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.2	17.2	18.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	36	34.6	31.6
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	32.8	31.2	29
<b>Número de golpes</b>	15	22	27
<b>% w</b>	22%	24%	24%



Datos Límite Líquido muestra 2			
<b>Número del Recipiente</b>	F11	G99	A5
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.6	18.2	17.5
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	48	45	40.2
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	42.8	40.2	36.2
<b>Número de golpes</b>	16	27	33
<b>% w</b>	21%	22%	21%



**ANEXO AD: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [15 DE JUNIO]**

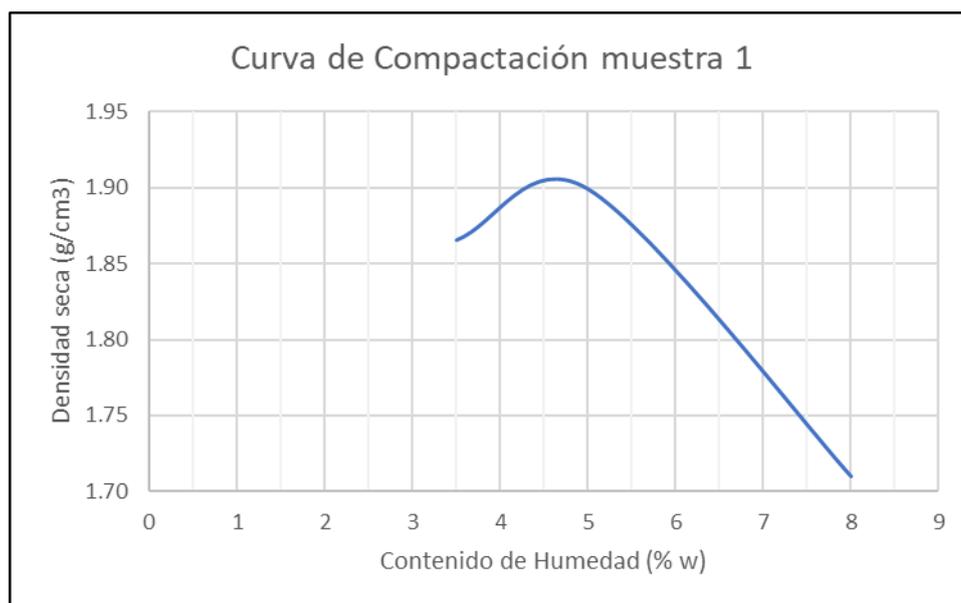
Datos Límite Plástico muestra 1		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	B3
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.6	16.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	31.6	28.6
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	29.2	26.4
<b>% w</b>	23%	22%

Datos Límite Plástico muestra 2		
<b>Número del Recipiente</b>	B3	1.0
<b>Peso de recipiente (g)</b>	16.3	18.8
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	35.1	31.4
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	31.8	29.2
<b>% w</b>	21%	21%

**ANEXO AE: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [15 DE JUNIO]**

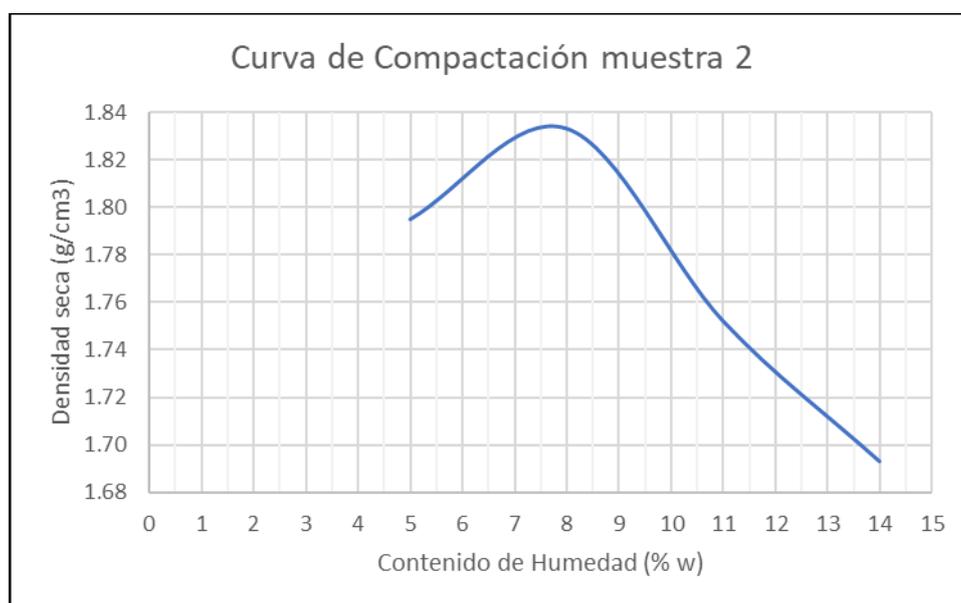
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 1				
<b>Espécimen</b>	<b>Peso molde + suelo compactado (g)</b>	<b>contenido de humedad (% w)</b>	<b>Peso del molde de compactación (g)</b>	<b>Volumen del molde de compactación (cm3)</b>
#1	3742.6	3.5	1921.4	943.3
#2	3802.2	5	1921.4	943.3
#3	3663.2	8	1921.4	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm3)	densidad seca (g/cm3)
3742.6	3.5	1821.2	1.93	1.87
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm3)	densidad seca (g/cm3)
3802.2	5	1880.8	1.99	1.90
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm3)	densidad seca (g/cm3)
3663.2	8	1741.8	1.85	1.71



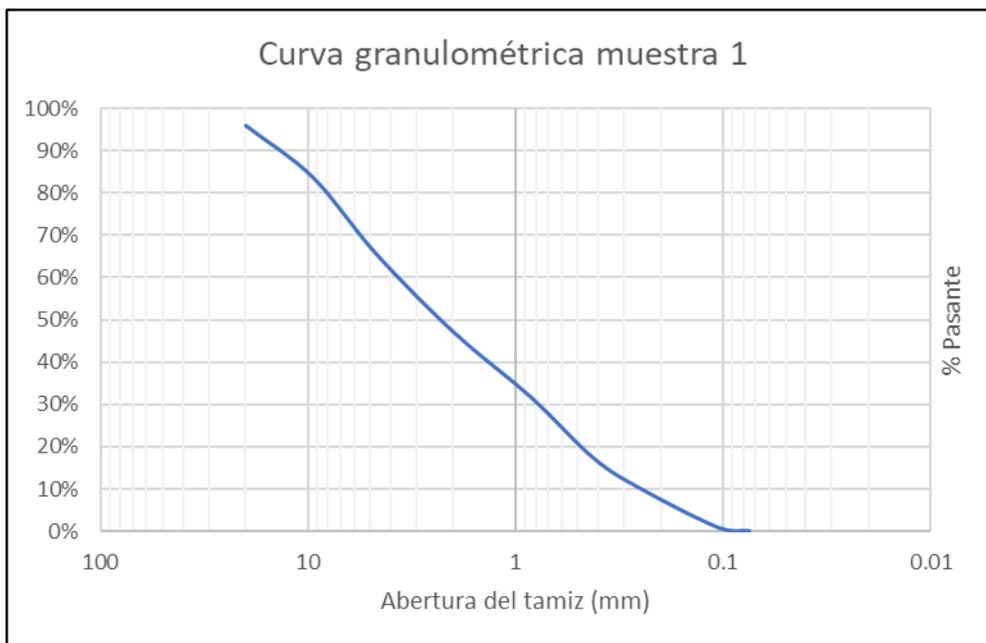
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 2				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm3)
#1	3707.0	5	1929.2	943.3
#2	3796.6	8	1929.2	943.3
#3	3763.8	11	1929.2	943.3
#4	3750.0	14	1929.2	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3707.0	5	1777.8	1.88	1.79
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3796.6	8	1867.4	1.98	1.83
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3763.8	11	1834.6	1.94	1.75
#4				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3750.0	14	1820.8	1.93	1.69

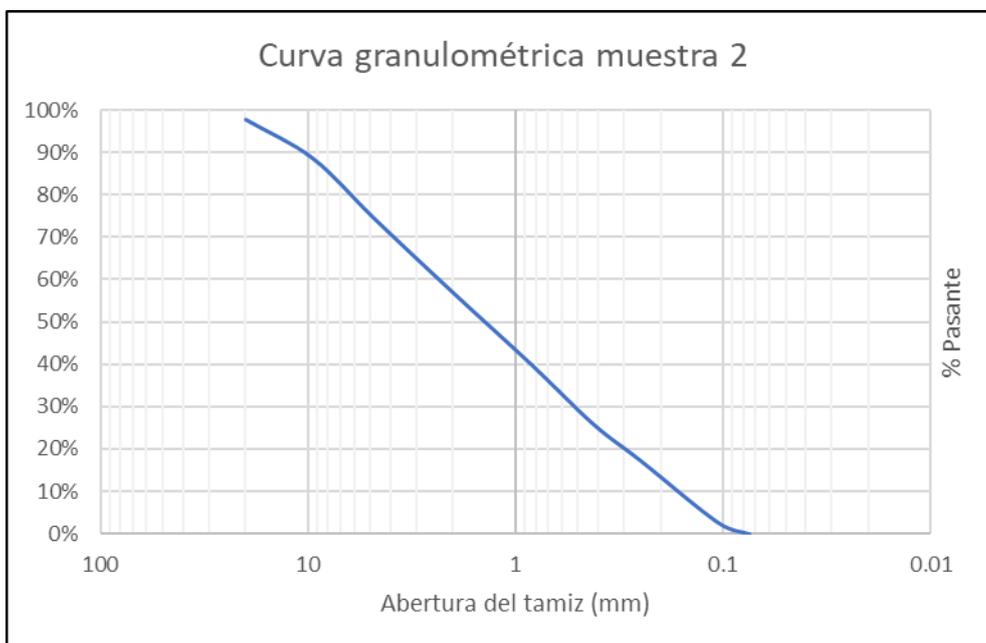


### ANEXO AF: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [PUEBLO VIEJO]

PUEBLO VIEJO muestra 1						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	53.2	53.2	4%	4%	96%
9.5	3/8"	155.4	208.6	12%	16%	84%
4.75	No.4	227.2	435.8	18%	34%	66%
2	No.10	237.2	673.0	19%	53%	47%
0.85	No.20	194.6	867.6	15%	68%	32%
0.425	No.40	183.0	1050.6	14%	83%	17%
0.250	No.60	93.2	1143.8	7%	90%	10%
0.106	No.140	116.2	1260.0	9%	99%	1%
0.075	No.200	10.2	1270.2	1%	100%	0%
Σ		1270.2				

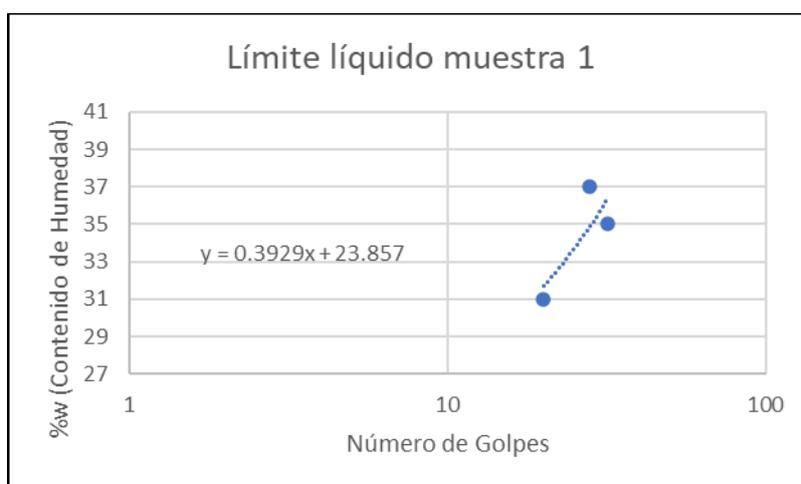


PUEBLO VIEJO muestra 2						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	33.6	33.6	2%	2%	98%
9.5	3/8"	142.2	175.8	9%	11%	89%
4.75	No.4	223.8	399.6	14%	26%	74%
2	No.10	268.4	668.0	17%	43%	57%
0.85	No.20	259.4	927.4	17%	60%	40%
0.425	No.40	220	1147.4	14%	74%	26%
0.250	No.60	135.6	1283.0	9%	83%	17%
0.106	No.140	226.4	1509.4	15%	97%	3%
0.075	No.200	41.6	1551.0	3%	100%	0%
Σ		1551.0				

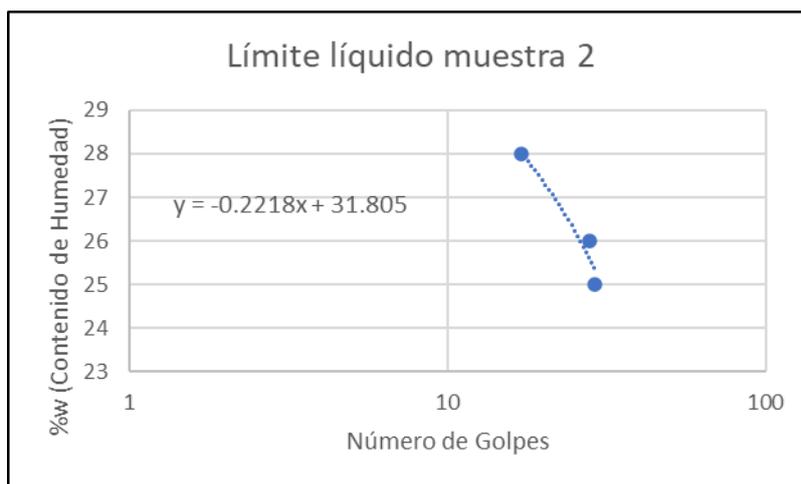


**ANEXO AG: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [PUEBLO  
VIEJO]**

Datos Límite Líquido muestra 1			
Número del Recipiente	B0	A5	G99
Peso de recipiente (g)	18.2	17.2	18.9
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	36.6	29.8	35.8
Peso de recipiente + suelo seco (g)	32.2	26.4	31.4
Número de golpes	20	28	32
% w	31%	37%	35%



Datos Límite Líquido muestra 2			
Número del Recipiente	B2	B3	B0
Peso de recipiente (g)	18.4	16	18.2
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	38.2	44.2	35
Peso de recipiente + suelo seco (g)	34.1	38	31.6
Número de golpes	28	17	29
% w	26%	28%	25%



**ANEXO AH: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [PUEBLO  
VIEJO]**

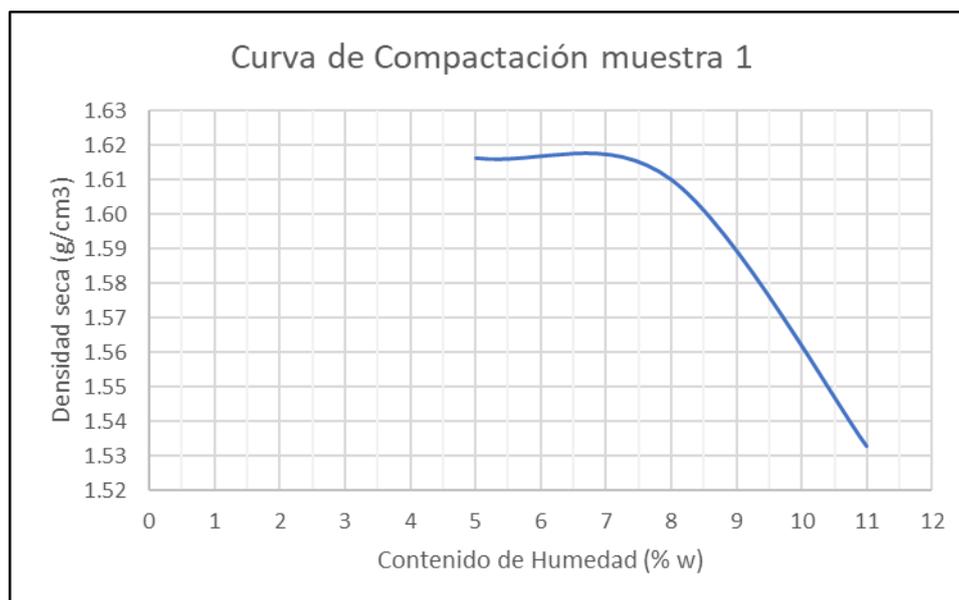
Datos Límite Plástico muestra 1		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	B3
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.6	16.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	24.0	22.6
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	22.8	21.0
<b>% w</b>	29%	33%

Datos Límite Plástico muestra 2		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	A5
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.8	17.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	30	28.2
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	27.6	26.4
<b>% w</b>	27%	20%

**ANEXO AI: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR**  
**[PUEBLO VIEJO]**

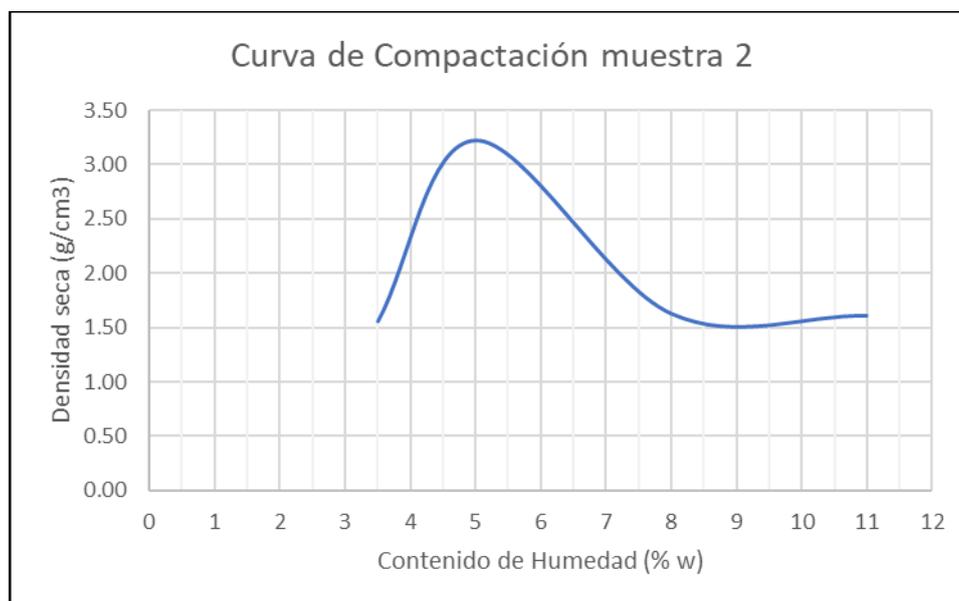
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 1				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3521.8	5	1921	943.3
#2	3561.2	8	1921	943.3
#3	3526.0	11	1921	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3521.8	5	1600.8	1.70	1.62
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3561.2	8	1640.2	1.74	1.61
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3526.0	11	1605.0	1.70	1.53



Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 2				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3445.6	3.5	1923.6	943.3
#2	5111.6	5	1923.6	943.3
#3	3584.2	8	1923.6	943.3
#4	3611.2	11	1923.6	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3445.6	3.5	1522.0	1.61	1.56
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
5111.6	5	3188.0	3.38	3.22
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3584.2	8	1660.6	1.76	1.63
#4				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3611.2	11	1687.6	1.79	1.61

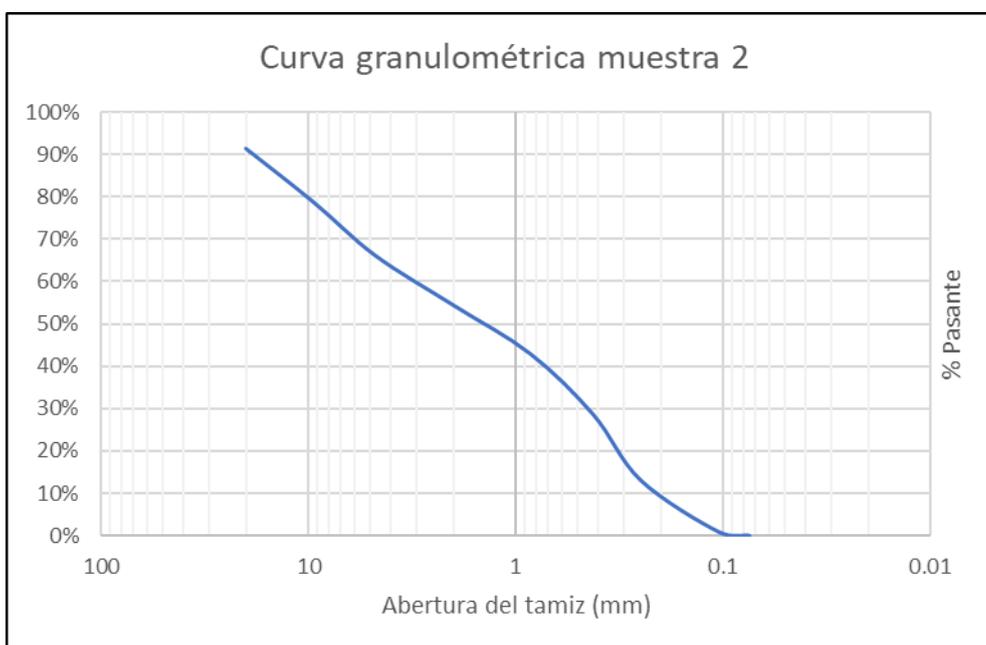


### ANEXO AJ: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [SAN PEDRUCO]

SAN PEDRUCO 1 muestra 1						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	0	0.0	0%	0%	100%
9.5	3/8"	78.4	78.4	7%	7%	93%
4.75	No.4	178.4	256.8	16%	22%	78%
2	No.10	234.4	491.2	21%	43%	57%
0.85	No.20	542.4	1033.6	48%	91%	9%
0.425	No.40	34.6	1068.2	3%	94%	6%
0.250	No.60	32.2	1100.4	3%	96%	4%
0.106	No.140	41.2	1141.6	4%	100%	0%
0.075	No.200	0	1141.6	0%	100%	0%
Σ		1141.6				

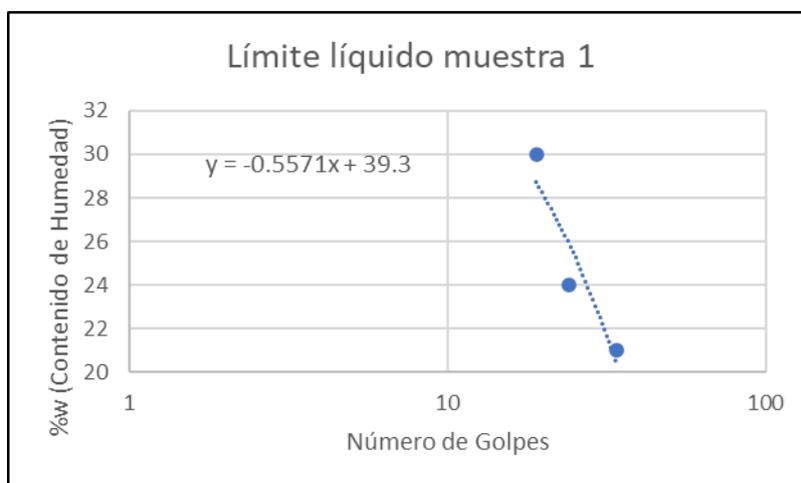


SAN PEDRUCO 2 muestra 2						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	102.6	102.6	9%	9%	91%
9.5	3/8"	149.4	252.0	13%	21%	79%
4.75	No.4	151.8	403.8	13%	34%	66%
2	No.10	139.4	543.2	12%	46%	54%
0.85	No.20	137.2	680.4	12%	57%	43%
0.425	No.40	169.8	850.2	14%	71%	29%
0.250	No.60	186.0	1036.2	16%	87%	13%
0.106	No.140	143.8	1180.0	12%	99%	1%
0.075	No.200	10.8	1190.8	1%	100%	0%
Σ		1190.8				

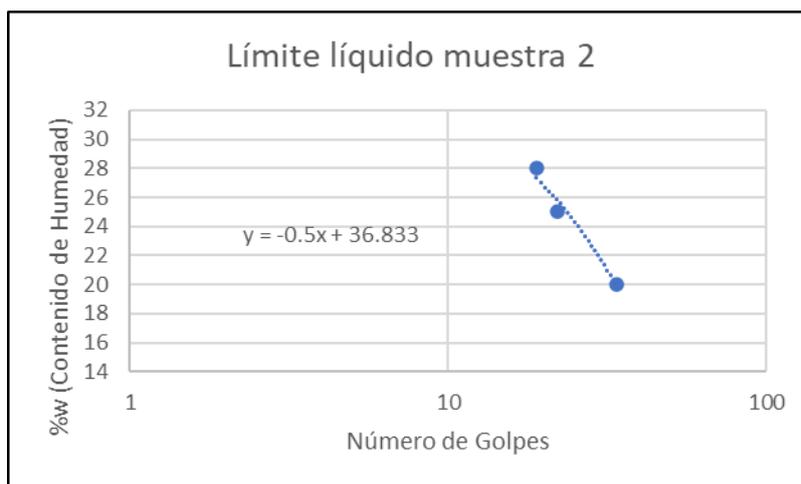


**ANEXO AK: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [SAN  
PEDRUCO]**

Datos Límite Líquido muestra 1			
Número del Recipiente	B2	B3	B0
Peso de recipiente (g)	18.4	16	18.2
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	36.8	37	41
Peso de recipiente + suelo seco (g)	32.6	33	37
Número de golpes	19	24	34
% w	30%	24%	21%



Datos Límite Líquido muestra 2			
Número del Recipiente	B0	A5	G99
Peso de recipiente (g)	18.2	17.2	18.9
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	37.2	45	37
Peso de recipiente + suelo seco (g)	33	39.5	34
Número de golpes	19	22	34
% w	28%	25%	20%



**ANEXO AL: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [SAN  
PEDRUCO]**

Datos Límite Plástico muestra 1		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	A5
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.8	17.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	23.8	24.2
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	22.9	22.9
<b>% w</b>	22%	23%

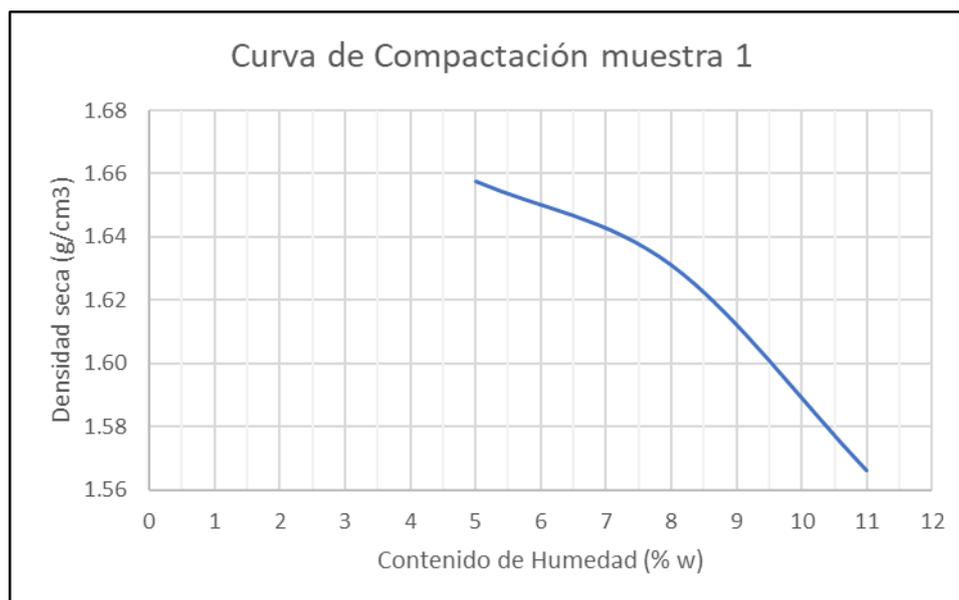
Datos Límite Plástico muestra 2		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	B3
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.6	16.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	28.4	23
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	26.4	21.9
<b>% w</b>	26%	19%

## ANEXO AM: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR

### [SAN PEDRUCO]

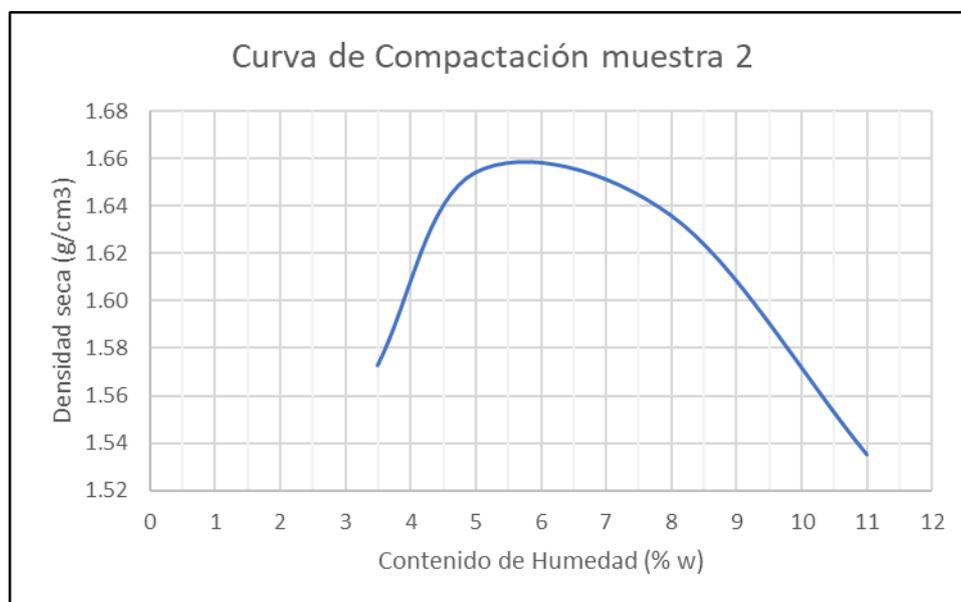
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 1				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3563.8	5	1922.0	943.3
#2	3583.8	8	1922.0	943.3
#3	3562.0	11	1922.0	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3563.8	5	1641.8	1.74	1.66
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3583.8	8	1661.8	1.76	1.63
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3562.0	11	1640.0	1.74	1.57



Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 2				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3520.2	5	1921	943.3
#2	3586.6	8	1921	943.3
#3	3590.6	11	1921	943.3
#4	3530.8	12	1921	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3457.0	3.5	1535.6	1.63	1.57
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3559.8	5	1638.4	1.74	1.65
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3588.2	8	1666.8	1.77	1.64
#4				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3529.0	11	1607.6	1.70	1.54

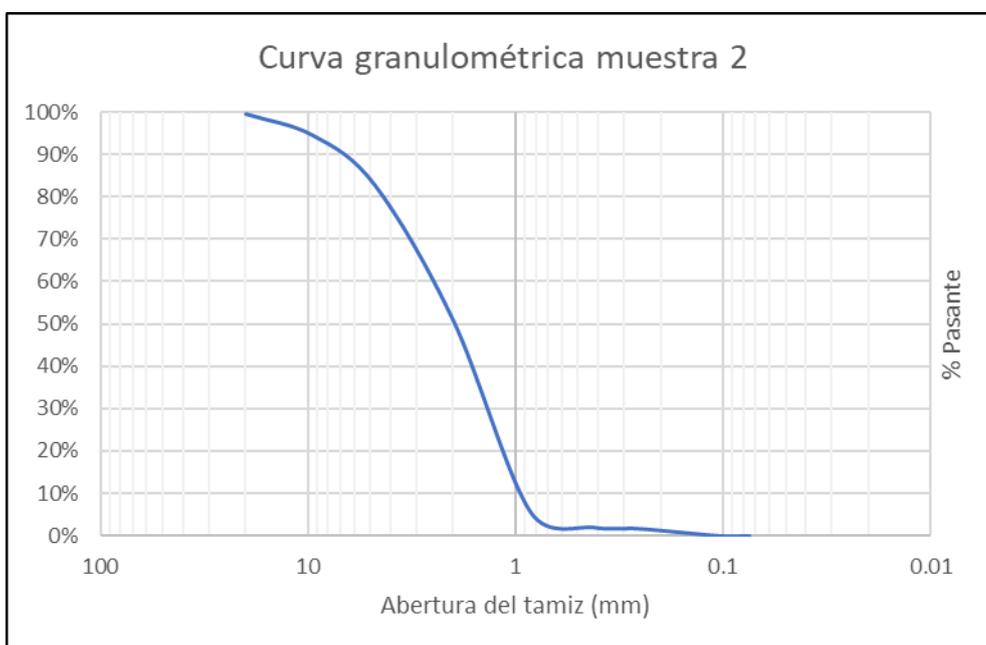


### ANEXO AN: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [24 DE MAYO]

24 DE MAYO muestra 1						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	7.4	7.4	0%	0%	100%
9.5	3/8"	78.4	85.8	5%	6%	94%
4.75	No.4	189.2	275.0	12%	18%	82%
2	No.10	482.4	757.4	31%	49%	51%
0.85	No.20	705	1462.4	45%	94%	6%
0.425	No.40	57.6	1520.0	4%	98%	2%
0.250	No.60	6.8	1526.8	0%	98%	2%
0.106	No.140	26.6	1553.4	2%	100%	0%
0.075	No.200	1.4	1554.8	0%	100%	0%
Σ		1554.8				

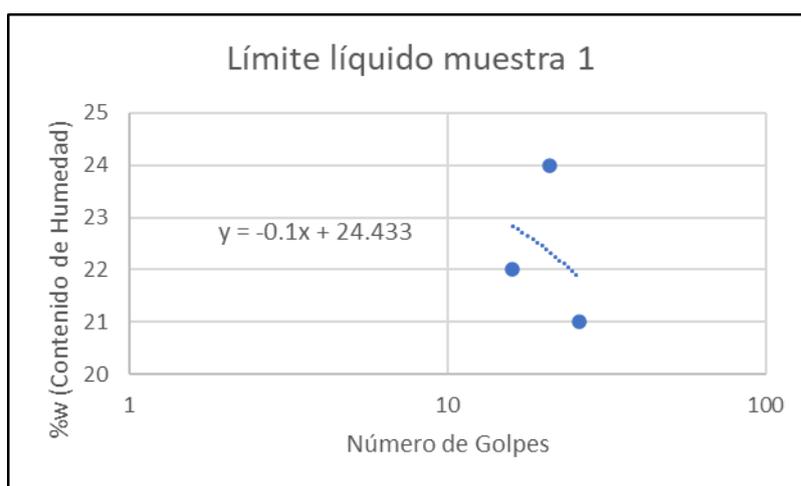


24 DE MAYO muestra 2						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	8.6	8.6	1%	1%	99%
9.5	3/8"	79.1	87.7	5%	6%	94%
4.75	No.4	185.3	273.0	12%	17%	83%
2	No.10	496.0	769.0	32%	49%	51%
0.85	No.20	704.3	1473.3	45%	94%	6%
0.425	No.40	56.1	1529.4	4%	98%	2%
0.250	No.60	5.2	1534.6	0%	98%	2%
0.106	No.140	25.4	1560.0	2%	100%	0%
0.075	No.200	1.0	1561.0	0%	100%	0%
$\Sigma$		1561.0				

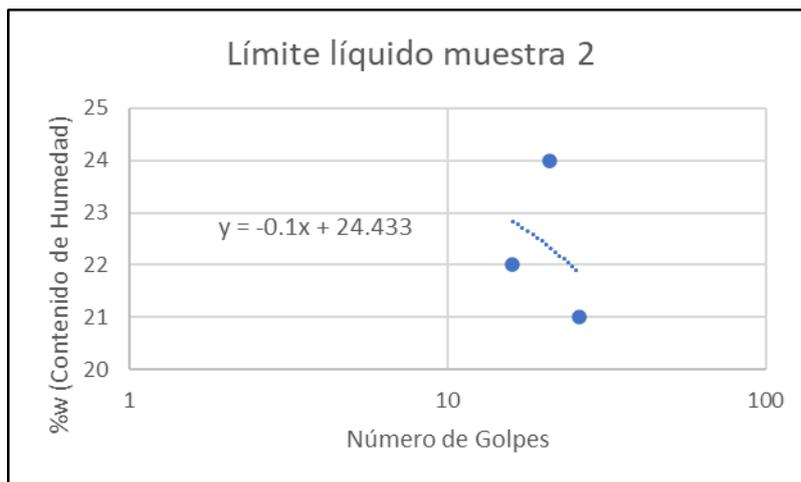


### ANEXO AO: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [24 DE MAYO]

Datos Límite Líquido muestra 1			
Número del Recipiente	B2	B3	B0
Peso de recipiente (g)	18.4	16.0	18.2
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	45.8	47.6	41.6
Peso de recipiente + suelo seco (g)	40.8	41.4	37.6
Número de golpes	16	21	26
% w	22%	24%	21%



Datos Límite Líquido muestra 2			
Número del Recipiente	B2	B3	B0
Peso de recipiente (g)	18.4	16.0	18.2
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	45.8	47.6	41.6
Peso de recipiente + suelo seco (g)	40.8	41.4	37.6
Número de golpes	16	21	26
% w	22%	24%	21%



**ANEXO AP: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [24 DE  
MAYO]**

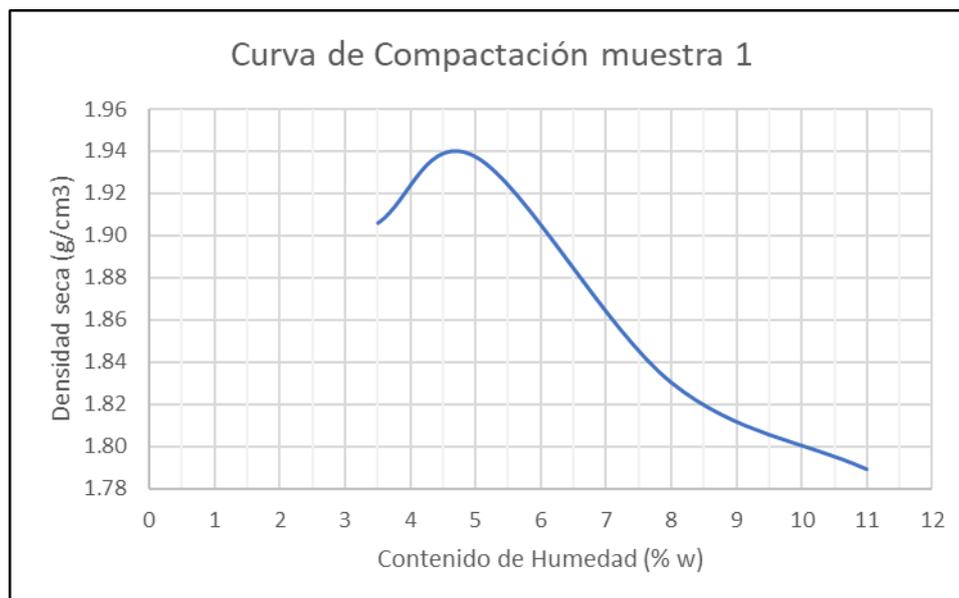
Datos Límite Plástico muestra 1		
<b>Número del Recipiente</b>	G99	A5
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.2	17.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	41.2	43.6
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	37.0	39
<b>% w</b>	22%	21%

Datos Límite Plástico muestra 2		
<b>Número del Recipiente</b>	G99	A5
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.2	17.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	41.2	43.6
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	37.0	39
<b>% w</b>	22%	21%

## ANEXO AQ: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR [24 DE MAYO]

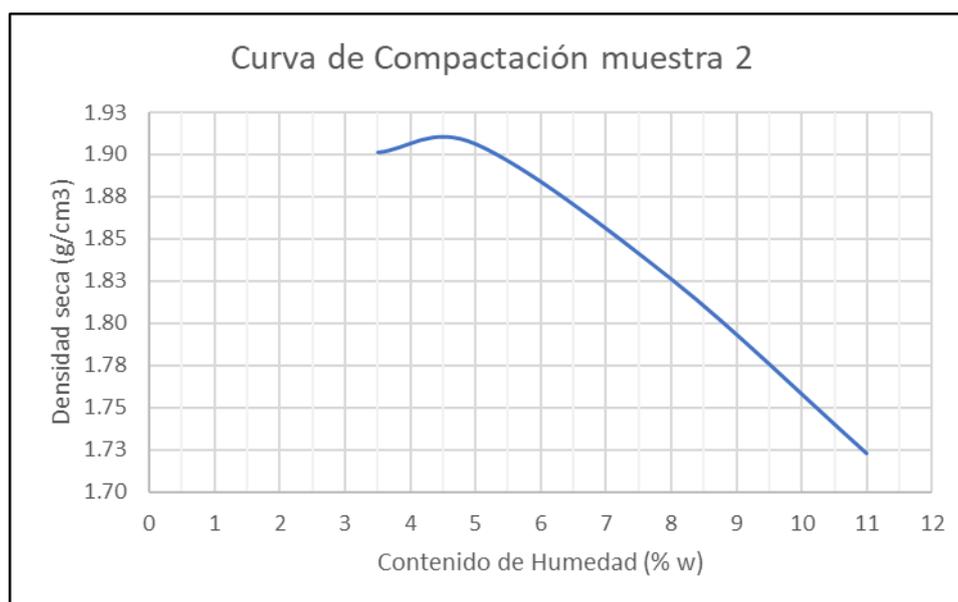
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 1				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3445.6	3.5	1923.6	943.3
#2	5111.6	5	1923.6	943.3
#3	3584.2	8	1923.6	943.3
#4	3611.2	11	1923.6	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3782.8	3.5	1860.8	1.97	1.91
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3840.8	5	1918.8	2.03	1.94
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3786.8	8	1864.8	1.98	1.83
#4				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3795.6	11	1873.6	1.99	1.79



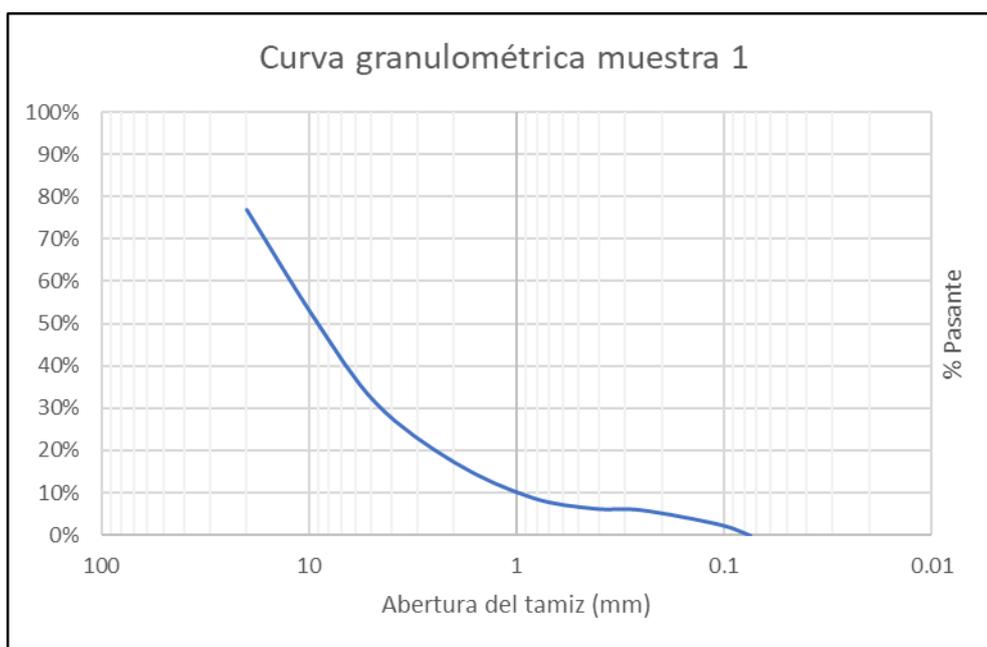
Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 2				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3778.4	3.5	1923.6	943.3
#2	3810.2	5	1923.6	943.3
#3	3782.8	8	1923.6	943.3
#4	3726.4	11	1923.6	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3778.4	3.5	1856.4	1.97	1.90
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3810.2	5	1888.2	2.00	1.91
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3782.8	8	1860.8	1.97	1.83
#4				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3726.4	11	1804.4	1.91	1.72

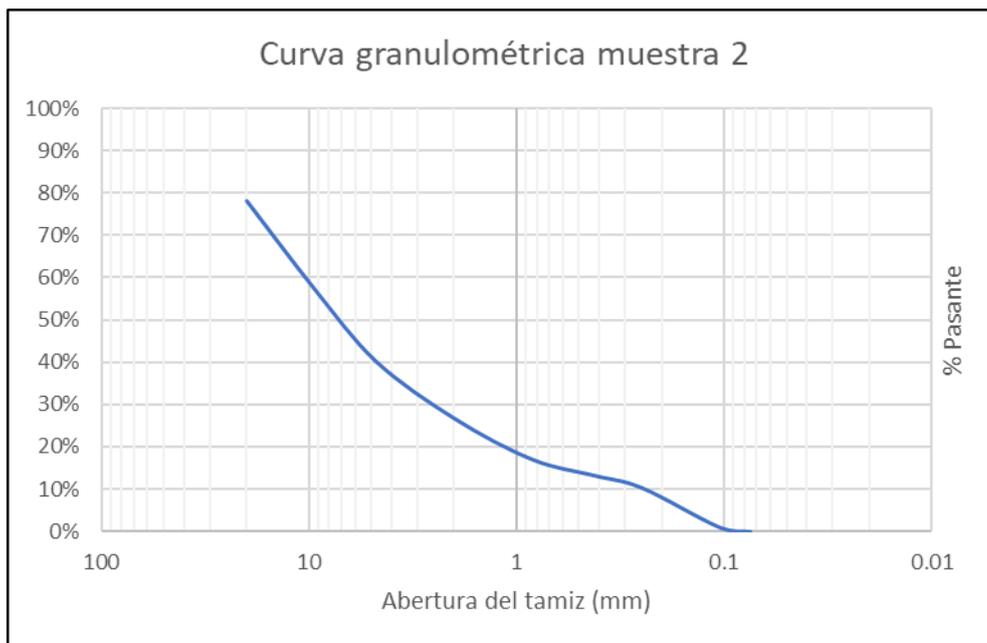


## ANEXO AR: DATOS TAMIZADO Y CURVA GRANULOMÉTRICA [LOS HUERTOS]

LOS HUERTOS muestra 1						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	210.8	210.8	23%	23%	77%
9.5	3/8"	233.2	444.0	25%	49%	51%
4.75	No.4	186.0	630.0	20%	69%	31%
2	No.10	127.2	757.2	14%	83%	17%
0.85	No.20	76.0	833.2	8%	91%	9%
0.425	No.40	24.0	857.2	3%	94%	6%
0.250	No.60	3.4	860.6	0%	94%	6%
0.106	No.140	31.0	891.6	3%	97%	3%
0.075	No.200	23.8	915.4	3%	100%	0%
Σ		915.4				

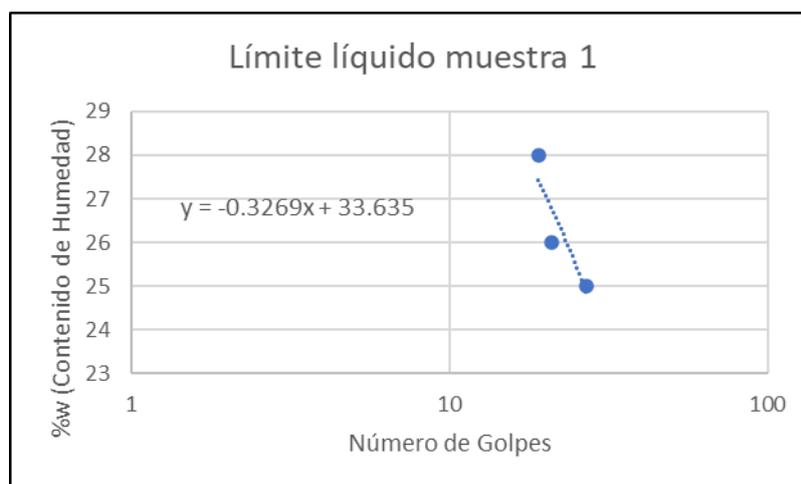


LOS HUERTOS muestra 2						
Tamices (mm)	Tamices	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Pasante
20	3/4"	243.2	243.2	22%	22%	78%
9.5	3/8"	227.4	470.6	21%	43%	57%
4.75	No.4	191.2	661.8	17%	60%	40%
2	No.10	147.8	809.6	13%	73%	27%
0.85	No.20	106.2	915.8	10%	83%	17%
0.425	No.40	42.4	958.2	4%	87%	13%
0.250	No.60	32.2	990.4	3%	90%	10%
0.106	No.140	102.4	1092.8	9%	99%	1%
0.075	No.200	11.6	1104.4	1%	100%	0%
Σ		1104.4				

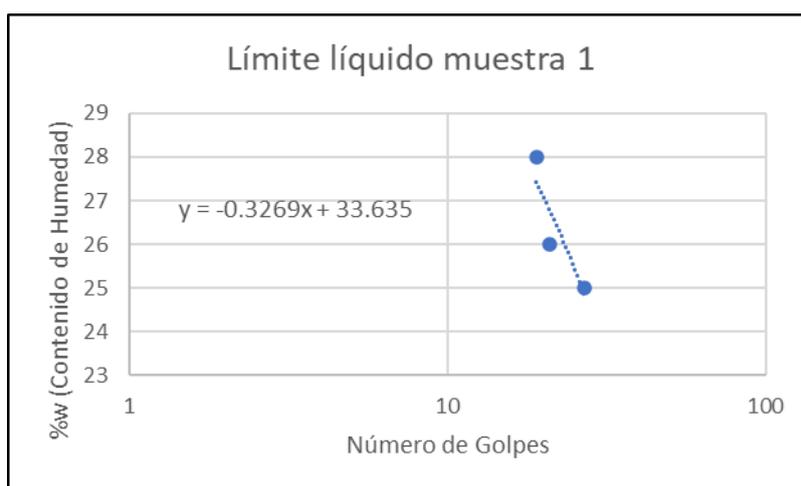


**ANEXO AS: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO [LOS HUERTOS]**

Datos Límite Líquido muestra 1			
<b>Número del Recipiente</b>	A5	B0	G99
<b>Peso de recipiente (g)</b>	17.4	18.2	18.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	34	35.8	31.4
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	30.4	32.2	28.8
<b>Número de golpes</b>	19	21	27
<b>% w</b>	28%	26%	25%



Datos Límite Líquido muestra 2			
<b>Número del Recipiente</b>	B0	A5	G99
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.2	17.2	18.9
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	36.6	29.8	35.8
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	32.2	26.4	31.4
<b>Número de golpes</b>	20	28	32
<b>% w</b>	31%	37%	35%



### ANEXO AT: DATOS Y DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO [LOS HUERTOS]

Datos Límite Plástico muestra 2		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	B3
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.8	16.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	24.8	21.4
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	23.7	20.4
<b>% w</b>	22%	24%

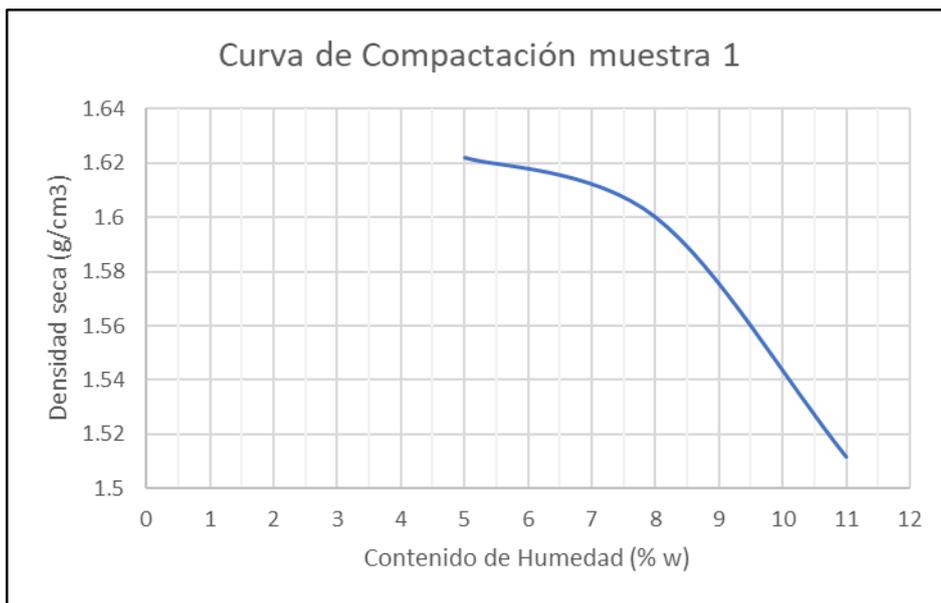
Datos Límite Plástico muestra 2		
<b>Número del Recipiente</b>	F11	B3
<b>Peso de recipiente (g)</b>	18.6	16.2
<b>Peso de recipiente + suelo húmedo (g)</b>	24.0	22.6
<b>Peso de recipiente + suelo seco (g)</b>	22.8	21.20
<b>% w</b>	29%	28%

## ANEXO AU: DATOS Y VALORES PARA EL ENSAYO PROCTOR ESTÁNDAR

### [LOS HUERTOS]

Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 1				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm <sup>3</sup> )
#1	3527.8	5	1921.4	943.3
#2	3551.4	8	1921.4	943.3
#3	3504.4	11	1921.4	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3527.8	5	1606.4	1.70	1.62
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3551.4	8	1630.0	1.73	1.60
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )
3504.4	11	1583.0	1.68	1.51



Ensayo de compactación Proctor Estándar muestra 2				
Espécimen	Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso del molde de compactación (g)	Volumen del molde de compactación (cm3)
#1	3374.8	5	1921	943.3
#2	3594.0	8	1921	943.3
#3	3563.2	11	1921	943.3

#1				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm3)	densidad seca (g/cm3)
3374.8	5	1453.8	1.54	1.47
#2				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm3)	densidad seca (g/cm3)
3594.0	8	1673.0	1.77	1.64
#3				
Peso molde + suelo compactado (g)	contenido de humedad (% w)	Peso suelo compactado (g)	densidad humeda (g/cm3)	densidad seca (g/cm3)
3563.2	11	1642.2	1.74	1.57

