

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD SECA Y  
GRADO DE COMPACTACIÓN DE UN SUELO, CON RESPECTO AL  
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS SUBRASANTES**

**ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD SECA Y  
GRADO DE COMPACTACIÓN DE UN SUELO, CON RESPECTO AL  
CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS SUBRASANTES DE TIPO  
ARCILLA ARENOSA, POCO PLÁSTICA (CL).**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**JEFFERSON DAVID NONO FLORES**

**jefferson.nono@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. GERMÁN LUNA HERMOSA., MBA**

**german.luna@epn.edu.ec**

**DMQ, FEBRERO 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Jefferson David Nono Flores declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**JEFFERSON DAVID NONO FLORES**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Jefferson David Nono Flores, bajo mi supervisión.

---

**ING. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA, MBA**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JEFFERSON DAVID NONO FLORES

GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación y la culminación de esta etapa académica a mis padres, como muestra de profundo agradecimiento por su incansable esfuerzo, sacrificio y amor incondicional. Gracias a su dedicación y apoyo incondicional, he tenido la oportunidad de estudiar y contar con las herramientas necesarias para desarrollar mis habilidades y crecer tanto personal como académicamente.

A toda mi familia, abuelitos, abuelitas, tíos, tías y hermanos, les dedico este trabajo como expresión de gratitud por todo el cariño y la ayuda brindada a lo largo de este camino. Su constante apoyo y aliento han sido fundamentales en mi formación y desarrollo.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, David y Nancy, les agradezco profundamente por brindarme la oportunidad de educarme y por su incansable esfuerzo para asegurarse de que nunca me falte nada. Su constante apoyo y dedicación han sido mi mayor inspiración para esforzarme siempre y alcanzar mis metas. Agradezco profundamente su invaluable enseñanza y orientación, que han contribuido a forjar mi carácter y a guiarme por el camino del bienestar, por haberme inculcado valores que me han guiado hacia el camino de la rectitud y la integridad.

A mi querida abuelita Blanca, le debo un infinito agradecimiento por su amor incondicional, sus cuidados constantes y su apoyo incansable en cada paso de mi vida. A mis abuelitos Jaime y Agustín, así como a mis abuelitas Carmen y Blanca, les agradezco por haber desempeñado el papel de padres en mi vida y por su influencia significativa en mi desarrollo.

A mis tíos y tías, quienes han sido como hermanos para mí, les estoy agradecido por su constante apoyo y cariño, siempre dispuestos a tenderme una mano y brindarme su amor. A mis hermanos, les agradezco por su incondicional cariño y su respaldo constante en cada paso de mi camino.

A todas las personas que he tenido el privilegio de conocer y que forman parte de la comunidad de la Escuela Politécnica Nacional, les agradezco por su invaluable contribución a mi formación académica y a mi crecimiento profesional. En especial, agradezco a mi tutor, el Ing. Germán Luna, por su orientación y asesoramiento, que fueron fundamentales para el desarrollo exitoso de este trabajo de investigación. A la Ing. Karina Campiño y al personal del LEMSUR, les agradezco por su invaluable ayuda y orientación durante la ejecución del componente práctico de este proyecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	2
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
ÍNDICE DE TABLAS .....	12
RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
CAPITULO I .....	16
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
1.3 ALCANCE .....	17
CAPITULO II .....	19
2. MARCO TEÓRICO .....	19
2.1 COMPACTACIÓN DE SUELOS .....	19
2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION DE LOS SUELOS	19
2.2.1 NATURALEZA DEL SUELO .....	19
2.2.2 MÉTODO DE COMPACTACIÓN .....	19
2.2.3 ENERGÍA DE COMPACTACIÓN.....	20
2.2.4 CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO.....	20
2.3 CURVA DE COMPACTACIÓN .....	21
2.4 PROCESOS DE COMPACTACIÓN DE CAMPO.....	22
2.4.1 POR IMPACTO .....	23
2.5 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN.....	24
2.5.1 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO ..	24
2.5.2 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CAMPO.....	25

2.6	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	26
2.6.1	GRANULOMETRÍA .....	26
2.6.2	LIMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO.....	27
2.6.3	HUMEDAD DEL SUELO .....	27
2.6.4	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS .....	28
2.6.5	PRUEBA PROCTOR ESTANDAR Y MODIFICADO .....	30
2.7	ENSAYOS DE DENSIDAD DE CAMPO .....	30
2.7.1	CONO Y ARENA .....	30
2.7.2	SONDEO NUCLEAR (DENSÍMETRO NUCLEAR) .....	31
2.8	ESPECIFICACIONES PARA LA COMPACTACIÓN EN CAMPO .....	32
CAPITULO III .....		34
3.	METODOLOGÍA .....	34
PREPARACIÓN DE INSUMOS.....		34
3.1	SUELO TIPO ARCILLA ARENOSA POCO PLÁSTICA (CL).....	34
3.1.1	ZONA DE MUESTREO .....	34
3.1.2	GRANULOMETRÍA .....	36
3.1.3	CONTENIDO DE HUMEDAD .....	39
3.1.4	LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLASTICO .....	39
3.1.5	CLASIFICACIÓN SUCS .....	41
3.2	CURVA DE COMPACTACIÓN .....	42
3.2.1	ENSAYO PROCTOR ESTANDAR.....	42
3.3	FABRICACIÓN DEL MOLDE .....	45
3.3.1	CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA .....	45
3.3.2	REFORZAMIENTO DE LA CAJA .....	46
3.4	PREPARACIÓN DE LA MASA DE SUELO.....	48
3.4.1	TAMIZADO Y SECADO.....	48
3.4.2	CONTENIDO DE HUMEDAD DE ESTUDIO.....	49
3.5	COMPACTACIÓN DE LA MASA DE SUELO .....	51
3.5.1	CAPAS DE COMPACTACIÓN .....	51
3.5.2	COMPACTADOR .....	52

3.5.3	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN.....	52
3.6	ENSAYOS DE CAMPO.....	54
3.6.1	CONO Y ARENA .....	54
3.6.2	SONDEO NUCLEAR (DENSÍMETRO NUCLEAR) .....	55
CAPITULO IV .....		56
4.	RESULTADOS .....	56
4.1	RESULTADO DEL ENSAYO DE CAMPO CON CONO Y ARENA.....	56
4.2	RESULTADO DEL ENSAYO DE CAMPO CON SONDA NUCLEAR.....	56
4.3	COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD .....	58
4.4	Comparación de la densidad seca máxima.....	60
4.5	COMPACTACIÓN RELATIVA OBTENIDA CON LOS ENSAYOS DE DENSIDAD DE CAMPO .....	62
4.6	VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD SECA Y GRADO DE COMPACTACIÓN CON RESPECTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD .....	63
CAPITULO V .....		66
5.	CONCLUSIONES .....	66
CAPITULO VI.....		70
6.	RECOMENDACIONES.....	70
CAPITULO VII.....		72
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
	Resultados de los ensayos de clasificación SUCS entregados por el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR).....	75
	Resultados del ensayo Proctor Estándar entregado por el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR) .....	80
	Resultados del ensayo de densidad de campo con Sonda Nuclear entregado por el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR). 81	



## ÌNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Energía de compactación Proctor .....	24
<b>Ecuación 2.</b> Energía de compactación por impacto .....	25
<b>Ecuación 3.</b> Contenido de humedad .....	28
<b>Ecuación 4.</b> Densidad seca en campo .....	30
<b>Ecuación 5.</b> Grado de compactación .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principio de compactación.....	21
<b>Figura 2.</b> Curva de compactación para diversas energías de compactación .....	22
<b>Figura 3.</b> Compactación por impacto .....	23
<b>Figura 4.</b> Pisón por impacto.....	24
<b>Figura 5.</b> Límites de Atterberg .....	27
Figura 6. Gráfica de plasticidad.....	29
<b>Figura 7.</b> Sistema de clasificación SUCS .....	29
<b>Figura 8.</b> Equipo para ensayo de Cono y arena .....	31
<b>Figura 9.</b> Densímetro nuclear .....	32
<b>Figura 10.</b> Mapa de microzonificación del DMQ.....	35
<b>Figura 11.</b> Recolección de muestras .....	36
<b>Figura 12.</b> Serie de tamices para suelos finos.....	37
<b>Figura 13.</b> Proceso de tamizado.....	38
<b>Figura 14.</b> Curvas granulométricas de las zonas seleccionadas.....	38
<b>Figura 15.</b> Horno de secado .....	39
<b>Figura 16.</b> Balanza utilizada en los ensayos.....	40
<b>Figura 17.</b> Copa de Casagrande .....	40
<b>Figura 18.</b> Ubicación de las zonas seleccionadas en la carta de plasticidad .....	41
<b>Figura 19.</b> Curva de compactación de la zona 2 .....	44
<b>Figura 20.</b> Molde de compactación.....	44
<b>Figura 21.</b> Martillo compactador manual .....	45
<b>Figura 22.</b> Dimensiones externas de la caja de compactación.....	46
<b>Figura 23.</b> Dimensiones internas de la caja de compactación.....	46

<b>Figura 24.</b> Reforzamiento lateral con alambre de la caja de compactación .....	47
<b>Figura 25.</b> Reforzamiento lateral con alfajías de madera de la caja de compactación .....	47
<b>Figura 26.</b> Bandejas de secado .....	48
<b>Figura 27.</b> Horno de secado por ventilación .....	49
<b>Figura 28.</b> Probeta de un litro para dosificación de agua .....	50
<b>Figura 29.</b> Preparación del contenido de humedad en el suelo.....	50
<b>Figura 30.</b> Enfundado de la masa de suelo para conservación.....	51
<b>Figura 31.</b> Capa de compactación.....	52
<b>Figura 32.</b> Proceso de compactación .....	54
<b>Figura 33.</b> Equipo del ensayo de Cono y Arena .....	55
<b>Figura 34 .</b> Densímetro nuclear .....	55
<b>Figura 35.</b> Gráfica de la compactación relativa vs el contenido de humedad .....	64
<b>Figura 36.</b> Gráfica de comparación entre las curvas de compactación .....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Energía del Proctor .....	25
<b>Tabla 2.</b> Tamaño de partículas .....	26
<b>Tabla 3.</b> Zonas seleccionadas .....	35
<b>Tabla 4.</b> Granulometría de las zonas seleccionadas .....	37
<b>Tabla 5.</b> Contenido de humedad de las zonas seleccionadas .....	39
<b>Tabla 6.</b> Límite de consistencia de las zonas seleccionadas .....	40
<b>Tabla 7.</b> Clasificación SUCS de las zonas seleccionadas .....	41
<b>Tabla 8.</b> Granulometría del ensayo Proctor estándar de la zona 2 .....	42
<b>Tabla 9.</b> Condiciones del ensayo Proctor estándar de la zona 2 .....	43
<b>Tabla 10.</b> Resultados del ensayo Proctor estándar de la zona 2 .....	43
<b>Tabla 11.</b> Puntos a evaluar .....	49
<b>Tabla 12.</b> Especificaciones técnicas del compactador de impacto .....	52
<b>Tabla 13.</b> Peso unitario seco de compactación en campo requerido .....	53
<b>Tabla 14.</b> Tiempo de compactación necesario.....	53
<b>Tabla 15.</b> Resultados del ensayo de campo con Cono y Arena .....	56
<b>Tabla 16.</b> Resultados del ensayo de campo con Sonda nuclear del Punto 1 .....	57
<b>Tabla 17.</b> Resultados del ensayo de campo con Sonda nuclear del Punto 2 .....	57
<b>Tabla 18.</b> Resultados del ensayo de campo con Sonda nuclear del Punto 3 .....	58
<b>Tabla 19.</b> Resultados del ensayo de campo con Sonda nuclear del Punto 4 .....	58
<b>Tabla 20.</b> Comparación del contenido de humedad requerida y la obtenida con la Sonda Nuclear.....	59
<b>Tabla 21.</b> Comparación del contenido de humedad requerida y la obtenida con el Cono y Arena .....	59

<b>Tabla 22.</b> Comparación del contenido de humedad obtenida con el Cono y Arena y la obtenida con la Sonda Nuclear.....	60
<b>Tabla 23.</b> Comparación de la densidad seca máxima obtenida con el Cono y Arena y la obtenida con la Sonda Nuclear.....	61
<b>Tabla 24.</b> Comparación de la densidad seca máxima obtenida con la Sonda Nuclear y la obtenida con el Proctor estándar.....	61
<b>Tabla 25.</b> Comparación de la densidad seca máxima obtenida con el Cono y Arena y la obtenida con el Proctor estándar.....	61
<b>Tabla 26.</b> Compactación relativa obtenida con la medición de la Sonda Nuclear.	62
<b>Tabla 27.</b> Compactación relativa obtenida con los valores del Cono y Arena .....	62
<b>Tabla 28.</b> Comparación de la compactación relativa obtenida con el Cono y Arena y la Sonda Nuclear.....	63

## RESUMEN

Se delimitaron cinco zonas dentro del DMQ basadas en estudios previos de microzonificación de suelos que indicaban la presencia de suelo del tipo arcilla arenosa poco plástica (CL). Se realizaron los ensayos de laboratorio correspondientes a la clasificación SUCS, lo que permitió identificar cuatro zonas con presencia del suelo requerido. Se seleccionó la zona 2 como la más idónea para el estudio.

Se realizó en la zona seleccionada el ensayo Proctor estándar con el propósito de graficar la curva de compactación de la masa de suelo y determinar el punto de humedad óptimo. Con estos resultados, se definieron los puntos de la curva de compactación a evaluar y se prepararon las masas de suelo con el contenido de humedad necesario para los ensayos de densidad de campo. Para realizarlos, se construyó un molde y se empleó un compactador por impacto. Se establecieron ecuaciones para calcular el tiempo necesario de compactación y se realizó una calibración adicional, resultando en un tiempo total de un minuto y 30 segundos.

Una vez completada la compactación, se realizaron las mediciones con el Cono y Arena y la Sonda Nuclear. Los resultados de cada ensayo mostraron una relación, siendo ligeramente mayores los valores obtenidos con el Cono y Arena.

Los resultados permitieron determinar que tanto la disminución como el aumento del contenido de humedad en la masa de suelo conducen a una reducción en la densidad seca máxima. Sin embargo, el caso más crítico se presenta al disminuir el contenido de humedad.

**PALABRAS CLAVE:** Contenido de humedad, Energía de compactación, Densidad seca máxima, Ensayos de densidad de campo.

## ABSTRACT

Five zones were delimited within the DMQ based on previous soil microzonation studies that indicated the presence of low plastic sandy clay type soil (CL). Laboratory tests corresponding to the SUCS classification were performed, which identified four zones with the presence of the required soil. Zone 2 was selected as the most suitable for the study.

The standard Proctor test was carried out in the selected zone in order to obtain the compaction curve of the soil mass and determine the optimum moisture point. With these results, the points of the compaction curve to be evaluated were defined and the soil masses were prepared with the necessary moisture content for the field density tests. To perform these tests, a mold was built and an impact compactor was used. Equations were established to calculate the necessary compaction time and an additional calibration was performed, resulting in a total time of one minute and 30 seconds.

Once the compaction was completed, measurements were made with the Cone and Sand and the Nuclear Probe. The results of each test showed a relationship, with the values obtained with the Cone and Sand being slightly higher.

The results allowed determining that both the decrease and increase of moisture content in the soil mass lead to a reduction in the maximum dry density. However, the most critical case occurs with decreasing moisture content.

**KEY WORDS:** Moisture content, Compaction energy, Maximum dry density, Field density tests.

## CAPITULO I

### 1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Es de conocimiento general la gran importancia que el mejoramiento de suelos mediante la compactación de estos tiene para el caso de subrasantes o de cimentaciones de obras, cada vez que se emprende una edificación de alto impacto o relevancia, sin detenerse a discriminar tipos de obras, todas son trascendentes.

La importancia de la operación de mecánica de suelos y sus principales ventajas en el resultado de la obra final, como el mejoramiento de la durabilidad de las vías terrestres, son evidentes. Esta operación contribuye a mejorar las características físico-mecánicas del suelo, haciéndolo más adecuado para su uso en proyectos de ingeniería.

La compactación se define como el proceso mediante el cual se aplica energía mecánica a una masa de suelo con el fin de reducir los espacios vacíos, incrementando de esta manera su densidad y mejorando sus propiedades. Su mayor impacto y ventaja se observa en el incremento de la resistencia y la reducción de la deformación que se logra al someter la masa de suelo natural a procedimientos de compactación, lo cual se consigue al incrementar el peso específico seco y reducir vacíos, especialmente en grupos de suelos susceptibles como los finos.

Sin importar la técnica o método estabilizador utilizado, la compactación es necesaria para cualquier tipo de suelo que necesite mejorar su capacidad portante. Además, los trabajos de compactación se llevan a cabo en una amplia variedad de proyectos de construcción civil.

Las características del suelo que se pueden mejorar son: a) la deformabilidad, disminuyendo su compresibilidad cuando se incremente o disminuya la cantidad de agua; b) el aumento en la resistencia del esfuerzo cortante, y; c) una correcta proporción esfuerzo-deformación.

La vigilancia y control de la compactación permite comprobar en campo que el proyecto se desarrollara con los parámetros establecidos. Se sabe que aparte de la densidad, también influyen parámetros como la deformación o el asentamiento, los mismos que pueden llegar a medirse. Pero validar un proceso de compactación se utiliza el grado de compactación o la densidad "in situ". Este proceso se puede lograr con muestras extraídas del terreno o con equipos nucleares, los cuales permiten obtener resultados inmediatos y menos influenciados por el operador. Otras metodologías proponen el uso del famoso Cono-Arena o el método Volumétrico o de Membrana. La verificación de la compactación obtenida



puede realizarse realizando ensayos de densidad de campo o verificando que el proceso de compactación se ha realizado correctamente.

Normalmente el constructor realiza una verificación, comprobando la densidad alcanzada en varios puntos de control, los procedimientos de compactación y verificación son establecidos por el constructor.

Durante esta operación de campo, las condiciones ambientales previas a las mediciones pueden afectar notablemente el resultado del grado de compactación a verificar.

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la influencia que tiene el nivel de humedad presente en un macizo de suelo compactado de tipo Arcilla arenosa poco plástica (CL), en la densidad seca calculada y el nivel de desviación en el grado de compactación dependiendo del método de verificación.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar una prospección a nivel de ciudad para determinar el suelo más adecuado, para realizar la investigación.
2. Realizar un muestreo de suelos en los lugares escogidos para extraer, conservar y transportar las muestras al laboratorio.
3. Realizar ensayos de clasificación SUCS y determinar las propiedades de las muestras mediante ensayos de granulometría, límite plástico y límite líquido.
4. Seleccionar un sitio y tipo de suelo para continuar con el estudio.
5. Realizar el ensayo Proctor estándar (Norma ASTM D-1557) en la muestra seleccionada para determinar el peso unitario seco máximo, el contenido de humedad óptimo, así como la curva de compactación.
6. Determinar, la influencia en el grado de compactación por la variación del contenido de humedad alrededor de la humedad óptima.
7. Realizar ensayos de verificación de Cono y Arena, y Sonda Nuclear en cada opción de análisis.

## **1.3 ALCANCE**

El proyecto está enfocado a la búsqueda de evidencia respecto a la afectación que el nivel de humedad presente en un macizo de suelo compactado tiene sobre la densidad seca

calculada; y el grado de desviación en los resultados dependiendo del método de determinación: Sonda Nuclear y Cono y Arena.

Esta tarea se realizará en un suelo tipo CL -arcilla arenosa de baja plasticidad-, con el cual se ha formulado el procedimiento normado ASTM D-1557 y en la ASTM-D-698.

Se pretende encontrar una correlación entre valores obtenidos por los diferentes métodos, dentro de un rango de contenidos de humedad cercano al punto de humedad óptima, dos puntos por el lado seco y otros dos puntos por el lado húmedo.

El proyecto buscará obtener una comprensión más profunda de la variabilidad de la densidad seca en las arcillas arenosas poco plásticas con respecto a diferentes niveles de humedad que las condiciones ambientales puedan generar en un macizo compactado.

## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 COMPACTACIÓN DE SUELOS**

La compactación de suelos implica aumentar su densidad al reducir los espacios vacíos, utilizando medios mecánicos para fortalecer su resistencia y minimizar su capacidad de deformación. Este proceso es fundamental en obras civiles como terraplenes, carreteras o rellenos. La maquinaria empleada, como maquinaria vibratoria, rodillos lisos o neumáticos, se elige según el tipo de suelo a compactar para lograr el mejor resultado posible.

La eficacia de la compactación se ve influenciada por varios factores, aunque dos de los más cruciales son el nivel de humedad inicial en el suelo antes de iniciar el proceso y la cantidad de energía que se dará a un volumen específico de suelo. Estos aspectos son fundamentales para un correcto proceso de compactación y su efectividad. (Eulalio Juárez Badillo, 1973)

#### **2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPACTACION DE LOS SUELOS**

##### **2.2.1 NATURALEZA DEL SUELO**

El suelo en el que se va a trabajar tiene un impacto significativo en cómo responderá a un método específico de compactación. Existen diferencias entre un suelo que contiene granos finos o gruesos, o entre suelos arcillosos y aquellos con propiedades más friccionantes, tener presente estas diferencias son fundamentales para elegir el método adecuado para realizar el procedimiento de compactación. Los sistemas de clasificación, como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), brindan la opción de identificar y caracterizar el tipo de suelo con el que se esté tratando. Esto a su vez permite determinar el proceso de compactación más adecuado que se puede aplicar, adaptado a las propiedades específicas del suelo en cuestión. (Rodríguez, 2005)

##### **2.2.2 MÉTODO DE COMPACTACIÓN**

Existen tres métodos principales para compactar un suelo: por la aplicación de impacto, por la aplicación de grandes presiones y mediante la colocación de cargas grandes por un periodo de tiempo largo. Cada método cuenta con equipos mecánicos específicos diseñados para lograr el resultado deseado. El objetivo es reproducir los resultados obtenidos "in situ", con los resultados de laboratorio, pero es complicado establecer una

relación precisa debido a que los ensayos de laboratorio no siempre reflejan fielmente las condiciones del campo. Las variaciones ambientales y las particularidades del entorno dificultan esta correlación directa entre los resultados obtenidos en laboratorio y las condiciones reales del sitio. (Rodríguez, 2005)

### **2.2.3 ENERGÍA DE COMPACTACIÓN**

Hace referencia a toda la energía que se aplica a un volumen específico de suelo durante el proceso de compactación. Los métodos para calcular esta energía varían según el procedimiento mecánico empleado. En los ensayos de laboratorio, se consideran parámetros como la cantidad de capas, el volumen del molde, la altura de bajada del pisón, y su peso. Sin embargo, al trasladar estos conceptos al campo, los parámetros cambian: por ejemplo, para un rodillo compactador se consideran variables como las veces que pasara el rodillo, la velocidad, el espesor de la capa y la superficie que ocupa el rodillo al estar en contacto con el suelo el suelo.

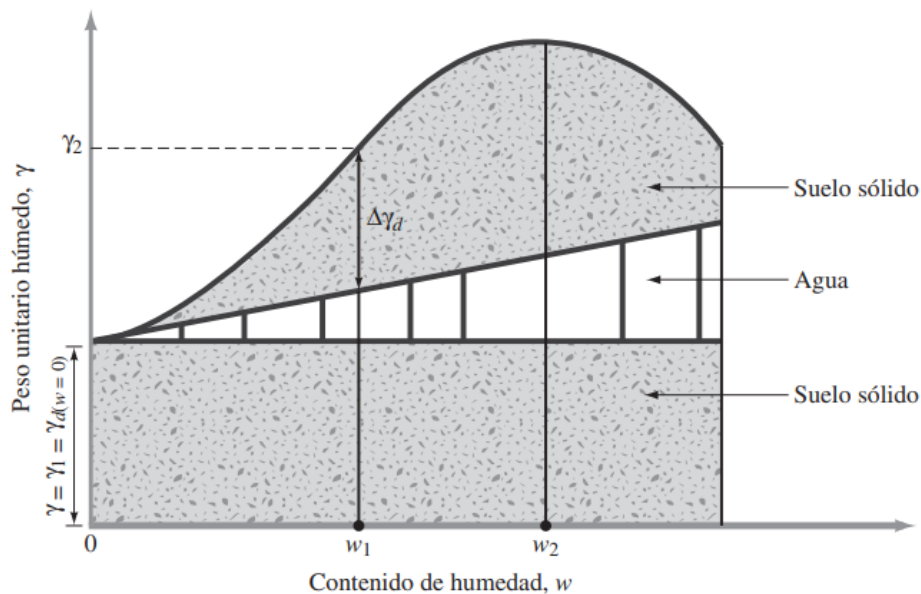
Aunque las variables difieren entre los métodos de laboratorio y los de campo, es posible comparar los valores de la energía de compactación para establecer una relación entre ambos casos. Esta comparación permite entender cómo se relacionan los niveles de energía aplicados en el laboratorio con los utilizados en condiciones reales en el campo. (Rodríguez, 2005)

### **2.2.4 CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO**

La cantidad de humedad está relacionada con el peso específico seco, debido a que el agua facilita el reacomodo de las partículas. Proctor estudió este comportamiento comenzando con un bajo contenido de humedad "w1". A medida que la humedad aumentaba gradualmente hasta un "w2", también lo hacía el peso específico seco. Por otra parte, al seguir aumentando la humedad por encima un "w2", se llega a un punto en el que el peso específico seco comienza a disminuir porque el agua comienza a desplazar el aire del suelo. A partir de estas observaciones, Proctor concluyó que cada tipo de suelo tiene un punto óptimo de humedad, donde se logra el peso específico seco máximo.

Esta idea se puede explicar de la siguiente manera: en condiciones de bajos contenidos de humedad en el suelo, la tensión capilar favorece la unión entre los grumos del suelo, lo que resulta en una compactación más eficiente. Sin embargo, cuando la cantidad de agua aumenta, está llena prácticamente por completo los vacíos del suelo, lo que impide una

buena compactación debido a que el agua no puede desplazarse instantáneamente, produciéndose así una reducción en el peso específico seco. (Rodríguez, 2005)



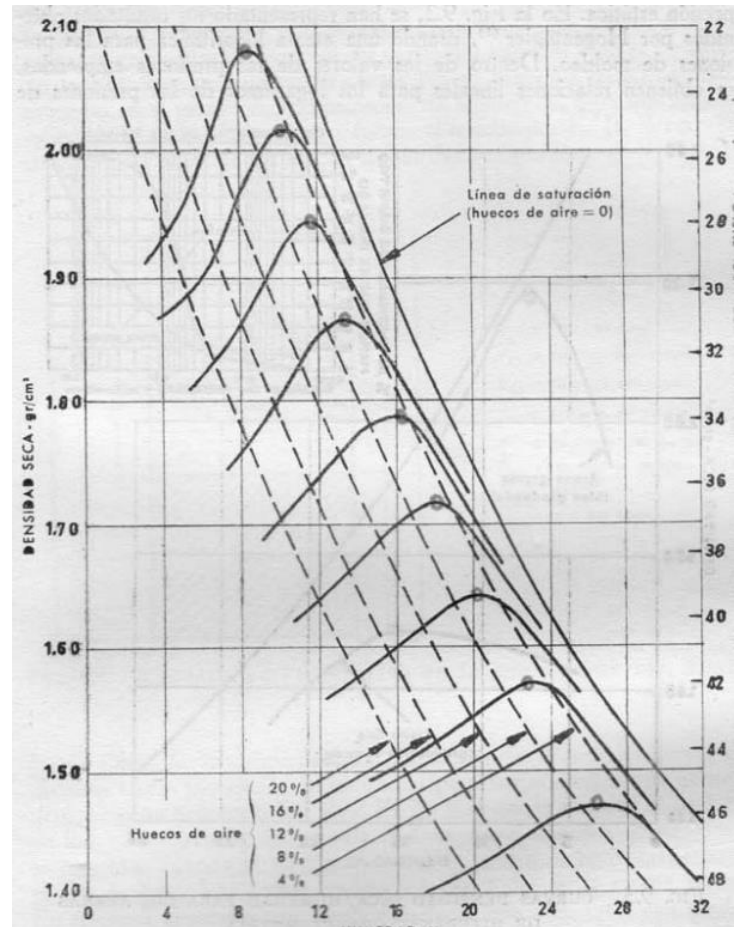
**Figura 1.** Principio de compactación

**Fuente:** (M.Das, 2015)

## 2.3 CURVA DE COMPACTACIÓN

Una manera de visualizar los resultados de un proceso de compactación es mediante un gráfico que represente el contenido de agua en el eje horizontal, mientras que la densidad seca se represente en el eje vertical.

Es importante destacar que una misma masa de suelo puede presentar distintas gráficas, ya que es posible lograr una mayor densidad seca con menor nivel de agua al aumentar la energía de compactación. En este contexto, el punto con el mayor valor de la gráfica para una determinada energía de compactación corresponde al peso específico seco máximo y al contenido de humedad óptimo. Este punto también es conocido como el "punto de máxima eficiencia" del proceso de compactación correspondiente a un determinado nivel de energía. (Rodríguez, 2005)



**Figura 2.** Curva de compactación para diversas energías de compactación

**Fuente:** (Valero, 1963)

## 2.4 PROCESOS DE COMPACTACIÓN DE CAMPO

La transmisión de energía de compactación al suelo puede llevarse a cabo mediante diversos procesos mecánicos, la elección del método adecuado depende de una serie de factores clave como:

- Tipo de suelo y sus características
- Área y profundidad requeridas
- Accesibilidad al terreno
- Factor económico
- Asentamientos permisibles

Al considerar cuidadosamente estos factores, se asegura la elección de un método de compactación óptimo para las condiciones específicas del proyecto, maximizando así la eficiencia del proceso. (Frateli, 1993)

### **2.4.1 POR IMPACTO**

Este método de compactación se distingue por la transmisión de energía a través de impactos a una alta velocidad. La maquinaria asociada con esta metodología incluye pisonos y ciertos tipos de rodillos capaces de alcanzar velocidades considerables.

Los pisonos dirigen el esfuerzo de compactación a áreas pequeñas y pueden utilizar mecanismos de caída libre, ser operados manualmente o estar impulsados por un motor. Su aplicación se restringe a áreas donde no es posible utilizar maquinaria pesada debido a limitaciones de espacio o a restricciones relacionadas con el peso. Este método resulta efectivo en circunstancias donde se requiere una compactación precisa en áreas específicas como zanjas o estaciones confinadas y la maquinaria convencional no es viable. (Rodríguez, 2005)



**Figura 3.** Compactación por impacto

**Fuente:** (Rodríguez, 2005)

El pisón por impacto, coloquialmente conocidos como "sapitos compactadores", estos equipos operan con un motor que genera pequeñas explosiones, propiciando el impacto de la máquina contra el suelo y su subsiguiente elevación, produciendo una sucesión de golpes.

La desventaja inherente a este equipo radica en su limitación para cubrir áreas extensas debido a su tamaño. No obstante, esta característica lo posiciona como una opción ideal para trabajos en los que el espacio disponible es reducido. Su capacidad para maniobrar en espacios estrechos lo convierte en una herramienta eficaz en entornos donde la maquinaria de mayor envergadura no es viable. (Flores, 2014)



**Figura 4.** Pisón por impacto

**Fuente:** (Flores, 2014)

## 2.5 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN

### 2.5.1 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO

La energía de compactación obtenida en el laboratorio se determina en base al ensayo Proctor, que emplea la siguiente ecuación con sus respectivas variables:

$$Energía\ de\ compactación = \frac{\left(\begin{matrix} \text{número} \\ \text{de golpes} \\ \text{por capa} \end{matrix}\right) * \left(\begin{matrix} \text{número} \\ \text{de} \\ \text{capas} \end{matrix}\right) * \left(\begin{matrix} \text{peso} \\ \text{del} \\ \text{martillo} \end{matrix}\right) * \left(\begin{matrix} \text{altura de} \\ \text{caída del} \\ \text{martillo} \end{matrix}\right)}{Volumen\ del\ molde}$$

**Ecuación 1.** Energía de compactación Proctor

**Fuente:** (M.Das, 2015)



**Tabla 1. Energía del Proctor**

<b>Parámetros del ensayo</b>	<b>Estándar</b>	<b>Modificado</b>
<b>#Golpes</b>	25	25
<b>#Capas</b>	3	5
<b>W<sub>Martillo</sub>(N)</b>	24,4	44,5
<b>H(mm)</b>	304,8	457,2
<b>V<sub>molde</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	943,3	943,3
<b>EC (kN-m/m<sup>3</sup>)</b>	591,31	2696,04

**Elaborado por:** Jefferson Nono

**Fuente:** (M.Das, 2015)

### **2.5.2 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN EN CAMPO**

Los parámetros que permiten determinar la energía de compactación dependen del proceso y de la maquinaria empleada. Para un compactador por impacto, se toman en consideración parámetros tales como los impactos por minuto, la energía entregada en cada impacto y el tiempo de compactación.

Al considerar estas variables, se formula la siguiente ecuación, la cual facilita la correlación entre la energía de compactación obtenida mediante ensayos de laboratorio y la necesaria para alcanzar el peso específico seco máximo en campo.

$$E = \frac{EI * f * TC * NC}{1000 * V}$$

**Ecuación 2.** Energía de compactación por impacto

**Fuente:** (Lange, 2005)

Donde:

E = Energía de compactación (N-m/m<sup>3</sup>)

EI = Energía por impacto (N-m)

f = Frecuencia (Hz)

TC = Tiempo de compactación (seg)

NC = Número de capas

V = Volumen del molde (m<sup>3</sup>)

Existen diversas fórmulas que posibilitan la interpretación de la forma en cómo se relacionan la energía de compactación obtenida en laboratorio con la obtenida en campo. Sin embargo, ninguna de ellas toma en cuenta como parámetro la manera en que el martillo transfiere la energía al suelo. Por esta razón, no se puede garantizar completamente la replicación exacta de los resultados de laboratorio en el campo. Por consiguiente, la fórmula permite tener un punto de partida, pero es imperativo llevar a cabo ajustes en la metodología empleada con el propósito de aproximar lo más posible al grado de compactación deseado. (Alejandro Moscoso, 2022)

## 2.6 ENSAYOS DE LABORATORIO

### 2.6.1 GRANULOMETRÍA

La granulometría del suelo permite establecer la manera en cómo se distribuyen las partículas de un suelo, clasificándolas según su tamaño. Dependiendo del tipo de partícula, éstas presentarán tamaños diferentes, y se utiliza un diámetro característico para su clasificación. Existen diversas normativas y procedimientos para determinar la granulometría de una masa de suelo, y cada una de ellas emplea una metodología específica para clasificarlas según el tamaño de las partículas.

**Tabla 2.** Tamaño de partículas

	<b>AASHTO</b>	<b>SUCS</b>	
<b>Grava</b>	76.2 a 2	76.2 a 4.75	mm
<b>Arena</b>	2 a 0.075	4.75 a 0.075	mm
<b>Limo</b>	0.075 a 0.002	<0,075	mm
<b>Arcilla</b>	<0,002	<0,075	mm

**Elaborado por:** Jefferson Nono

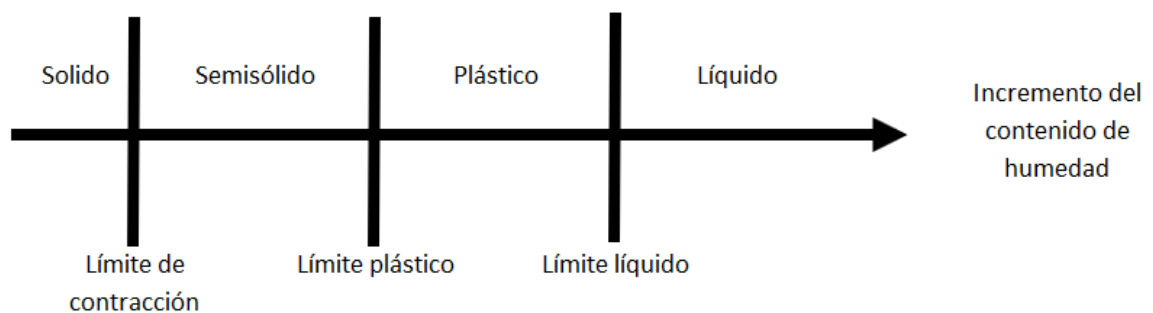
**Fuente:** (M.Das, 2015)

Además, es común representar estos datos mediante una gráfica conocida como curva granulométrica. En esta representación, el eje vertical indica el valor porcentual que atraviesa el tamiz, mientras que el eje horizontal representa el diámetro de las partículas o la abertura del tamiz. Cabe destacar que este último eje se presenta en una escala logarítmica, proporcionando así una representación visual más cómoda. (Valero, 1963)

## 2.6.2 LIMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO

Este ensayo proporciona información sobre los límites de consistencia o estado de una masa suelo frente al nivel de agua presente.

El límite líquido se refiere al punto por debajo del cual, el suelo presenta un comportamiento plástico y, por encima de este punto, empieza a fluir y se comporta como un material viscoso. El límite plástico se refiere al nivel debajo del cual el suelo ya no se comporta de manera plástica y comienza a adquirir características más sólidas. Ambos límites se expresan en porcentaje.



**Figura 5.** Límites de Atterberg

**Elaborado por:** Jefferson Nono

**Fuente:** (M.Das, 2015)

Estos parámetros son fundamentales para conocer el índice de plasticidad -IP- proporcionando una comprensión sobre la manera en que el suelo responde a diferentes niveles de humedad y facilitando así la determinación de sus propiedades y respuestas características mecánicas. (Bowles, 1981)

## 2.6.3 HUMEDAD DEL SUELO

El nivel de agua del suelo se expresa como la relación, del peso de agua presente en una muestra de suelo y el peso de una muestra de suelo seco. Este ensayo nos proporciona información acerca del porcentaje de humedad o grado de saturación presente en un terreno o en una muestra de suelo. (Valero, 1963)

Existen diversos métodos para conocer el contenido de agua en un suelo, en este caso específico, se determina por secado directo en un horno. Se lava una porción de suelo húmedo para secarlo en un horno, y conocer el peso del suelo en estado seco. Con estos datos, es posible calcular el contenido de humedad utilizando la siguiente ecuación:

$$\%w = \frac{W_w}{W_s} * 100 = \frac{W_{mh} - W_s}{W_s} * 100$$

**Ecuación 3.** Contenido de humedad

**Fuente:** (M.Das, 2015)

Donde:

%w = Contenido de humedad (%)

$W_w$  = Peso del agua (g)

$W_s$  = Peso del suelo seco (g)

$W_{mh}$  = Peso del suelo húmedo (g)

#### **2.6.4 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS**

El SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) los categoriza basándose en sus características físicas e ingenieriles. Esta forma de clasificarlos ayuda a entender la forma en cómo se comportará un suelo para poder tomar decisiones precisas para la construcción de obras civiles. Agrupa suelos de características y comportamientos similares.

El SUCS considera el tamaño de las partículas y las propiedades de plasticidad del suelo, evaluadas mediante ensayos de granulometría, límites de Atterberg y contenido de humedad. A través de una combinación de letras y números, este sistema describe las propiedades del suelo: las letras representan la textura (Grava-G, Arena-A, Limo-L, Arcilla-C), mientras que los números indican las propiedades de plasticidad. (Valero, 1963)

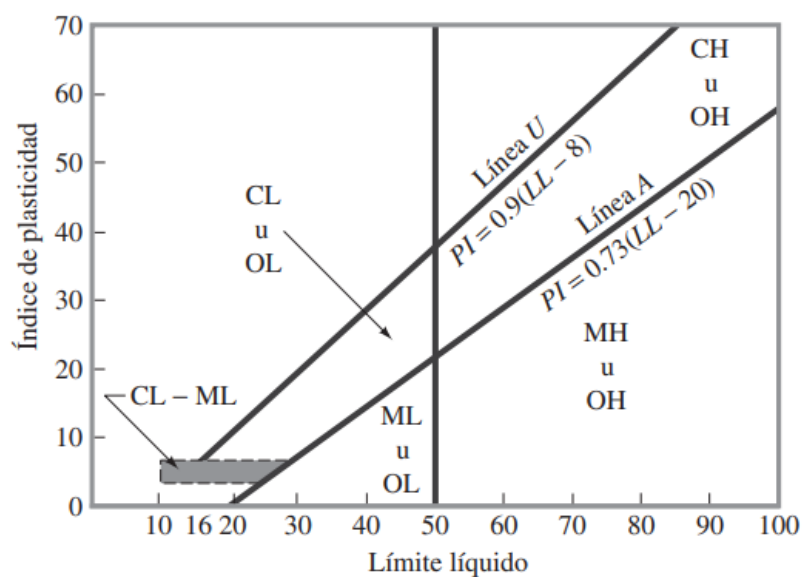


Figura 6. Gráfica de plasticidad

Fuente: (M.Das, 2015)

Criterios para la asignación de símbolos de grupo				
Suelos de grano grueso  Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	<b>Gravas</b>	Gravas limpias Menos de 5% finos	GW GP	
		Gravas con finos Más de 12% finos	GM GC	
	<b>Arenas</b>	Arenas limpias menos de 5% finos	SW SP	
		Arenas con finos Más de 12% finos	SM SC	
	Suelos de grano fino  50% o más pasa a través del tamiz núm.200	<b>Limos y arcillas</b> Límite líquido menor que 50	Inorgánico	CL ML
			Orgánico	OL
<b>Limos y arcillas</b> Límite líquido 50 o más		Inorgánico	CH MH	
		Orgánico	OH	
<b>Suelos altamente orgánicos</b>			Pt	

Figura 7. Sistema de clasificación SUCS

Fuente: (M.Das, 2015)

## 2.6.5 PRUEBA PROCTOR ESTANDAR Y MODIFICADO

El ensayo Proctor se aplica a muestras de suelo. Su objetivo principal es determinar la curva de compactación del suelo. El procedimiento permite trazar la curva de compactación, que a su vez proporciona información para identificar el contenido de humedad óptimo del suelo y la densidad seca máxima que un suelo puede alcanzar con una energía de compactación.

El ensayo Proctor estándar y el Proctor modificado se diferencian en la energía de compactación que cada uno transmite al suelo. El Proctor modificado utiliza una energía de compactación mayor, ya que se presupone el uso de maquinaria pesada durante la compactación en el campo. En cambio, el Proctor estándar se utiliza cuando la capacidad para transmitir energía de compactación en el campo se ve limitada. La elección entre ambos métodos depende de las condiciones específicas del sitio y de la maquinaria disponible para lograr la compactación deseada. (Valero, 1963)

## 2.7 ENSAYOS DE DENSIDAD DE CAMPO

Se cumplen para la determinación de la densidad seca en campo de un suelo compactado.

### 2.7.1 CONO Y ARENA

Este ensayo implica el uso de un jarro de plástico, un cono de metal y arena seca de Ottawa o Sílice. El procedimiento se lleva a cabo perforando un hoyo sobre una placa guía en el suelo previamente compactado, para posteriormente pesar la masa de suelo extraída y su nivel de humedad. Luego, se coloca el cono y se sitúa el jarro sobre el cono de manera que la arena se vierta en el agujero. Luego se determina el peso del resto de elementos. Con estos datos de peso, se calcula el peso unitario seco de compactación en el campo utilizando la siguiente ecuación. (M.Das, 2015)

$$\gamma_d = \frac{W}{V} * \left( \frac{100}{100 + \%W} \right)$$

**Ecuación 4.** Densidad seca en campo

**Fuente:** (M.Das, 2015)

Donde:

$\gamma_d$  = Peso unitario seco de compactación en el campo (Kg/cm<sup>3</sup>)

W = Peso del suelo excavado del agujero (Kg)

$V$  = Volumen del agujero (cm<sup>3</sup>)

$W\%$  = Contenido de humedad



**Figura 8.** Equipo para ensayo de Cono y arena

**Fuente:** (M.Das, 2015)

Se debe calibrar todos los dispositivos empleados en este ensayo en el laboratorio antes de su aplicación en el terreno.

### **2.7.2 SONDEO NUCLEAR (DENSÍMETRO NUCLEAR)**

Es un método no destructivo que posibilita la determinación del peso unitario seco y el contenido de humedad en una masa de suelo. Su funcionamiento implica la emisión de radiación en el suelo, seguido por el cálculo de la radiación gamma transmitida a través del mismo.



**Figura 9.** Densímetro nuclear

**Fuente:** (M.Das, 2015)

Esta herramienta es ampliamente utilizada gracias a la rapidez de sus resultados y a su naturaleza no destructiva. Sin embargo, dado que involucra radiación, el operador debe estar capacitado para manejar el equipo de manera segura y que cumpla con las normativas de seguridad asociadas con el uso de radiación.

## **2.8 ESPECIFICACIONES PARA LA COMPACTACIÓN EN CAMPO**

Dependiendo del tipo de obra la normativa ecuatoriana establece que la densidad a ser obtenida en campo para la mejora de terraplenes no debe ser menor al 95% de la densidad seca máxima obtenida en laboratorio. (REPUBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES, 2002)

Este valor se refiere a la compactación relativa y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R\% = \frac{\gamma_{d(Campo)}}{\gamma_{d(máx-lab)}} * 100$$

**Ecuación 5.** Grado de compactación

**Fuente:** (M.Das, 2015)

Donde:

R% = Compactación relativa (%)



$\gamma_{d(\text{Campo})}$  = Peso unitario seco de compactación en campo (KN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{d(\text{máx -lab})}$  = Peso unitario seco de compactación máximo obtenido en el laboratorio (KN/m<sup>3</sup>)

## **CAPITULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

En el trabajo integración curricular se ha utilizado una metodología experimental, en el cual se realizaron actividades prácticas y experimentales. Para la determinación del macizo de suelo necesario para el desarrollo del trabajo se procedió a determinar las zonas dentro del DMQ donde existe la presencia de suelos tipo Arcilla arenosa poco plástica (CL) empleando para ello un estudio de microzonificación, posteriormente se extrajeron varias muestras de estos sitios para determinar, mediante un Ensayo de clasificación SUCS, qué muestras satisfacen las necesidades requeridas para el desarrollo del trabajo y determinar mediante varios criterios la zona de la cual se extrajo el suelo necesario para el desarrollo del trabajo.

En la muestra seleccionada se realizó el ensayo Proctor estándar, para conocer el Contenido de humedad óptimo, la Densidad seca máxima y la Curva de compactación de la muestra. Este análisis llevo a la determinación de los parámetros necesarios para replicar la energía de compactación obtenida en laboratorio, en un macizo de suelo que represente unas condiciones in situ.

Se procedió a aplicar la energía de compactación necesaria al macizo de suelo. Se busco realizar este procedimiento con diferentes porcentajes de contenido de humedad, dos valores antes y dos después del contenido de humedad óptimo, para determinar cómo influye el clima en la energía de compactación de suelos tipo Arcilla arenosa poco plástica (CL) y en su grado de compactación.

### **PREPARACIÓN DE INSUMOS**

#### **3.1 SUELO TIPO ARCILLA ARENOSA POCO PLÁSTICA (CL).**

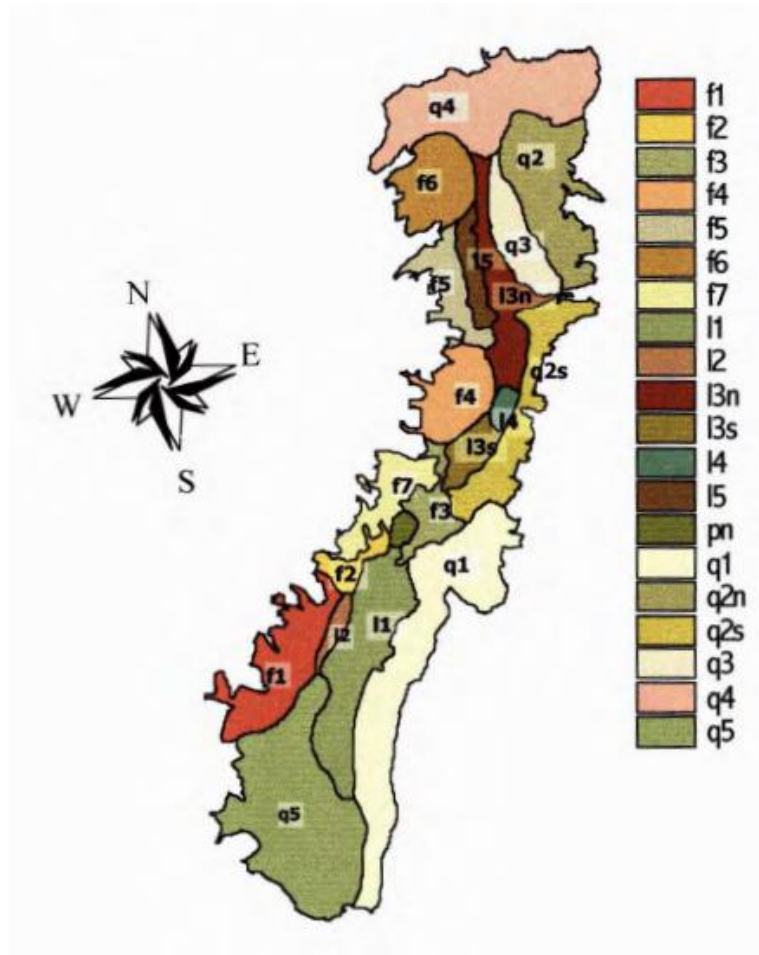
##### **3.1.1 ZONA DE MUESTREO**

La búsqueda se limitó a áreas dentro del DMQ, se seleccionaron 5 zonas que según el estudio de Jorge Valverde (2012) contienen un suelo de tipo arcilla arenosa poco plástica(CL) , si bien existen más zonas con la presencia de un suelo de tipo arcilla arenosa poco plástica (CL) las zonas seleccionadas son más accesibles.

Se realizo la extracción de las masas de suelo en cada zona, asegurándose de no incluir material orgánico. Además, se evaluó visualmente si existía material orgánico en el sitio de

excavación y se consideró la factibilidad de extraer toda la masa de suelo necesaria para el trabajo de integración curricular.

Posteriormente, se llevó a cabo la clasificación SUCS de cada muestra mediante los ensayos correspondientes.



**Figura 10.** Mapa de microzonificación del DMQ

**Fuente:** (Jorge Valverde, 2012)

**Tabla 3.** Zonas seleccionadas

Zona	
f4	1
q1	2
q3	3
l3s	4
q2n	5

**Elaborado por:** Jefferson Nono

Los resultados de la clasificación SUCS indicaron que las zonas 2, 3, 4 y 5 albergan el tipo de suelo necesario para el proyecto de integración curricular. Se optó por la zona 2, considerando aspectos como la accesibilidad, el contenido de material orgánico presente en dicha área y la factibilidad de extraer toda la masa de suelo necesaria para el proyecto.



**Figura 11.** Recolección de muestras

**Elaborado por:** Jefferson Nono

### **3.1.2 GRANULOMETRÍA**

El ensayo se lo realizo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR), basados en la Norma ASTM 6913 (ASTM, Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis, 2017).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 4.** Granulometría de las zonas seleccionadas

Granulometría método B						
Tamizado simple		Porcentaje pasante (%)				
Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Zona				
		1	2	3	4	5
3/8 in	9,500	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
No.4	4,750	99,0	99,9	99,0	99,7	98,0
No.10	2,000	97,5	99,1	96,6	99,3	96,0
No.20	0,850	94,9	96,7	90,3	97,9	94,0
No.40	0,425	89,4	87,0	81,4	92,3	87,0
No.60	0,350	82,5	77,2	72,9	84,0	78,0
No.100	0,250	75,2	69,9	64,8	73,9	69,0
No.140	0,106	68,4	66,0	59,0	67,1	63,0
No.200	0,075	65,7	61,2	54,1	61,1	57,0
Bandeja	< 0,075	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Elaborado por:** Jefferson Nono



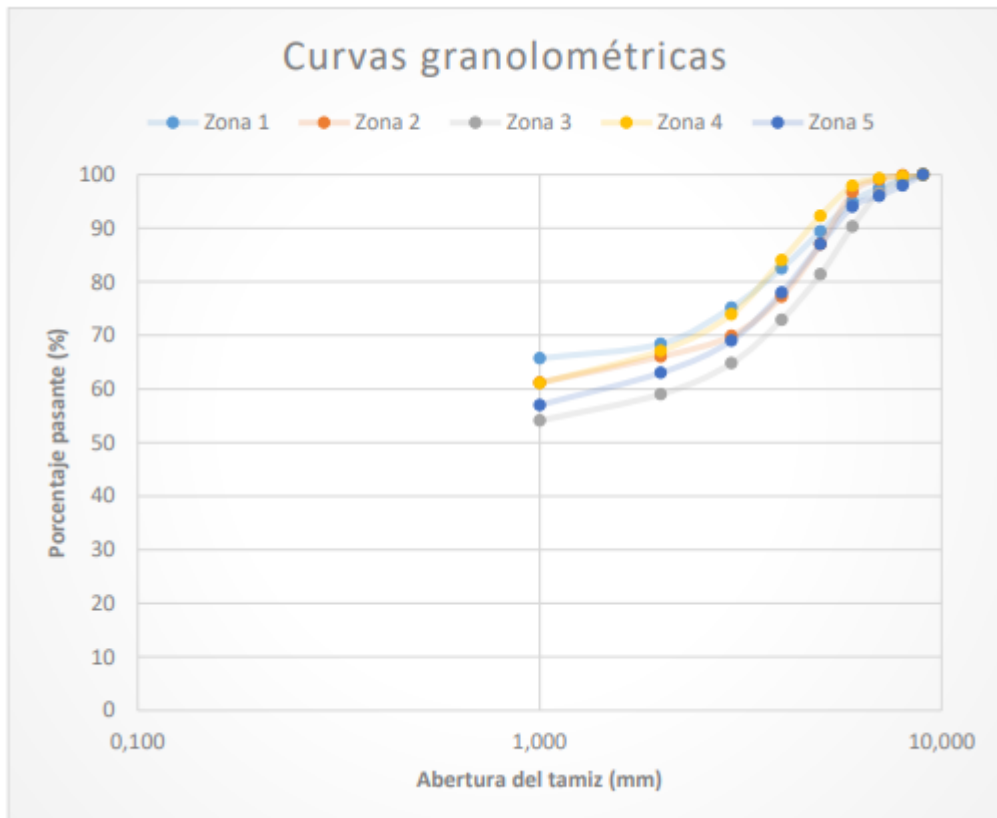
**Figura 12.** Serie de tamices para suelos finos

**Elaborado por:** Jefferson Nono



**Figura 13.**Proceso de tamizado

**Elaborado por:** Jefferson Nono



**Figura 14.** Curvas granulométricas de las zonas seleccionadas

**Elaborado por:** Jefferson Nono

### 3.1.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

El ensayo se lo realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR), basados en la Norma ASTM D2216 (ASTM, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, 2019).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 5.** Contenido de humedad de las zonas seleccionadas

Contenido de humedad	
Zona	(%)
1	36.8
2	20.6
3	24.7
4	13.1
5	10.0

Elaborado por: Jefferson Nono



**Figura 15.**Horno de secado

Elaborado por: Jefferson Nono

### 3.1.4 LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

El ensayo se lo realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR), basados en la Norma ASTM D4318 (ASTM, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 2018).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 6.** Límite de consistencia de las zonas seleccionadas

<b>Límites de consistencia</b>			
<b>Zona</b>	<b>LL (%)</b>	<b>LP (%)</b>	<b>IP (%)</b>
1	67	37	30
2	37	17	20
3	39	19	20
4	39	21	18
5	29	15	14

**Elaborado por:** Jefferson Nono



**Figura 16.** Balanza utilizada en los ensayos

**Elaborado por:** Jefferson Nono



**Figura 17.** Copa de Casagrande

**Elaborado por:** Jefferson Nono



### 3.1.5 CLASIFICACIÓN SUCS

Con los ensayos y resultados mencionados anteriormente se realizó la clasificación SUCS de los suelos encontrados en los sectores seleccionados.

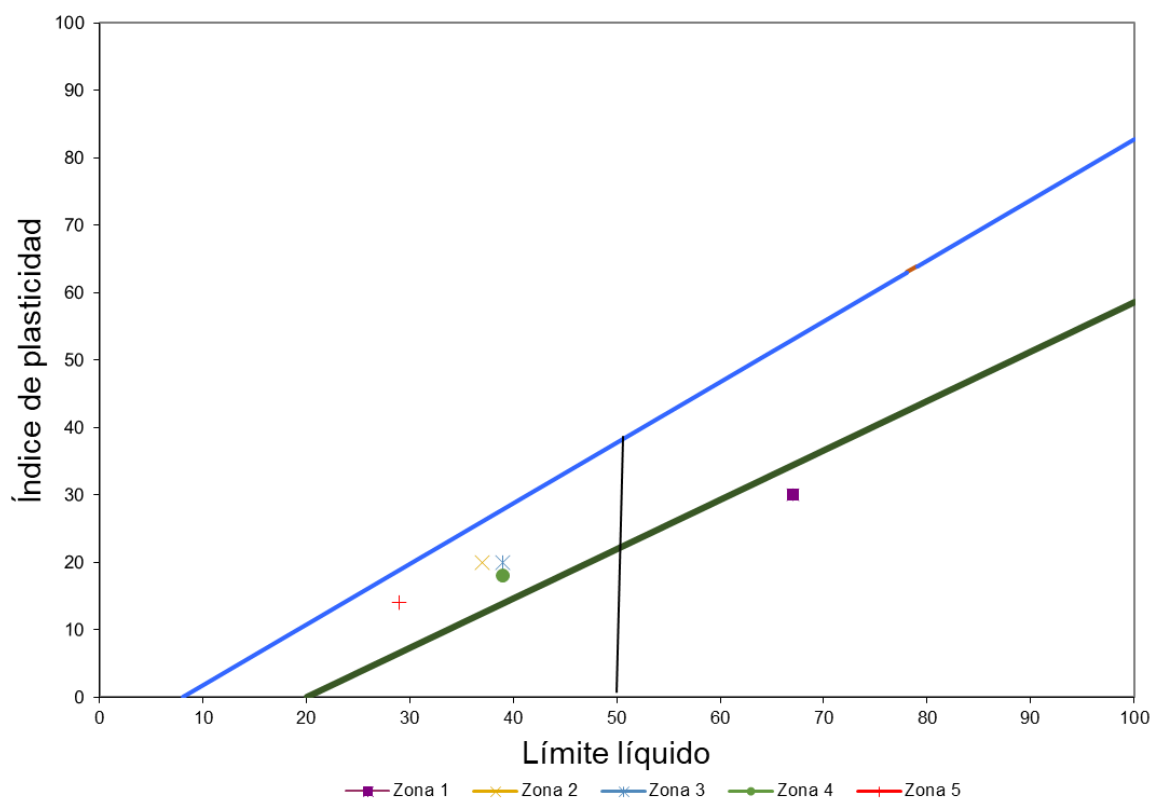
Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 7.** Clasificación SUCS de las zonas seleccionadas

Zona	Clasificación SUCS
1	MH de alta plasticidad
2	CL de baja plasticidad
3	CL de baja plasticidad
4	CL de baja plasticidad
5	CL de baja plasticidad

**Elaborado por:** Jefferson Nono

Carta de plasticidad



**Figura 18.** Ubicación de las zonas seleccionadas en la carta de plasticidad

**Elaborado por:** Jefferson Nono

Los resultados de la clasificación SUCS indicaron que las muestras de las zonas 2, 3, 4 y 5 corresponden a un suelo tipo arcilla arenosa de baja plasticidad (CL). Se optó por la zona 2 debido a que se trata de un talud de fácil acceso, y no se detectó presencia de material orgánico.

## 3.2 CURVA DE COMPACTACIÓN

### 3.2.1 ENSAYO PROCTOR ESTANDAR

El ensayo se lo realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR), basados en la Norma ASTM D698 (ASTM, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)), 2021).

La elección del ensayo Proctor estándar se debió a que la compactación in situ se realizará utilizando una apisonadora en lugar de maquinaria pesada.

Los resultados obtenidos de la muestra de la zona 2 son los siguientes:

**Tabla 8.** Granulometría del ensayo Proctor estándar de la zona 2

<b>GRANULOMETRÍA</b>					
<b>Tamiz No.</b>	<b>Tamaño Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Porcentaje Retenido (%)</b>	<b>Porcentaje Retenido acumulado (%)</b>	<b>Porcentaje Pasante (%)</b>
<b>3/4"</b>	19.00	0	0	0	100
<b>3/8"</b>	9.50	0	0	0	100
<b>4</b>	4.75	138	1	1	99
<b>Bandeja</b>	-	16042	99	100	0
	<b>Total</b>	16181			

**Elaborado por:** Jefferson Nono

Los resultados de la granulometría no indican que se debe utilizar el método A.

**Tabla 9.** Condiciones del ensayo Proctor estándar de la zona 2

<b>CONDICIONES DE ENSAYO</b>	<b>Método</b>	A
	<b>No. De capas</b>	3
	<b>No. De golpes</b>	25
	<b>Volumen molde (cm<sup>3</sup>)</b>	945.0
	<b>Fracción gruesa</b>	1%
	<b>Fracción de ensayo</b>	99%
	<b>Masa (kg)</b>	3.5
	<b>Altura de caída (mm)</b>	305
	<b>Vía de preparación</b>	Seco
	<b>Tipo de martillo</b>	Manual

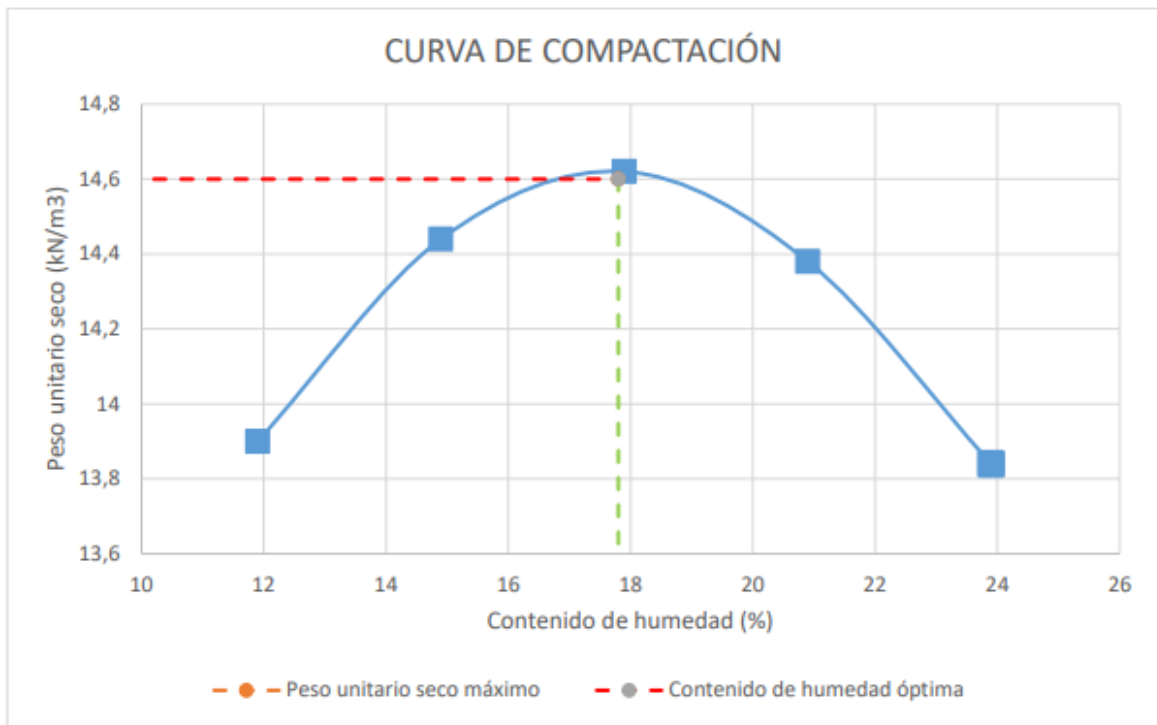
Elaborado por: Jefferson Nono

**Tabla 10.** Resultados del ensayo Proctor estándar de la zona 2

<b>COMPACTACIÓN</b>					
Sub-especimen	1	2	3	4	5
<b>Contenido de humedad (%)</b>	11.9	14.9	17.9	20.9	23.9
<b>Densidad seca (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1418	1472	1490	1467	1411
<b>Peso unitario seco (kN/m<sup>3</sup>)</b>	13.9	14.44	14.62	14.38	13.84

<b><math>\gamma_{d\text{máx}}</math>(KN/m<sup>3</sup>)</b>	14.6
<b><math>\rho_{d\text{máx}}</math>(Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1489
<b><math>W_{op}</math> (%)</b>	17.80

Elaborado por: Jefferson Nono



**Figura 19.** Curva de compactación de la zona 2

**Elaborado por:** Jefferson Nono



**Figura 20.** Molde de compactación

**Elaborado por:** Jefferson Nono



**Figura 21.** Martillo compactador manual

**Elaborado por:** Jefferson Nono

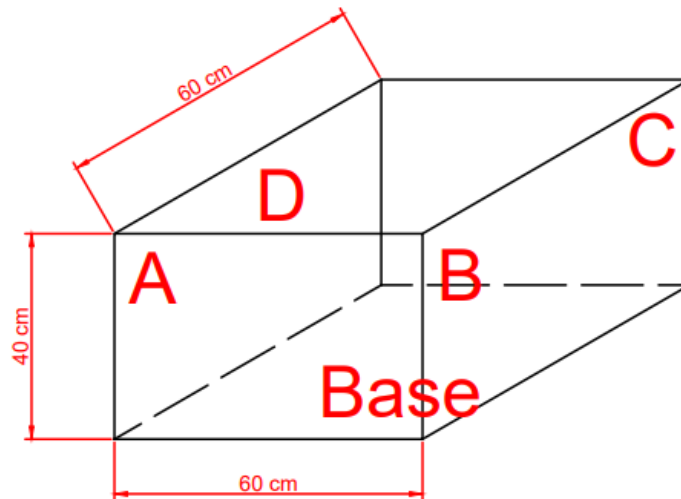
### **3.3 FABRICACIÓN DEL MOLDE**

Para llevar a cabo las evaluaciones necesarias en el laboratorio para el trabajo de integración curricular, es necesario contar con un molde rectangular que permita la manipulación de los equipos de medición de densidad en campo. Se ha considerado utilizar una caja de madera en la cual se compactará la masa de suelo para luego llevar a cabo los estudios correspondientes.

#### **3.3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA**

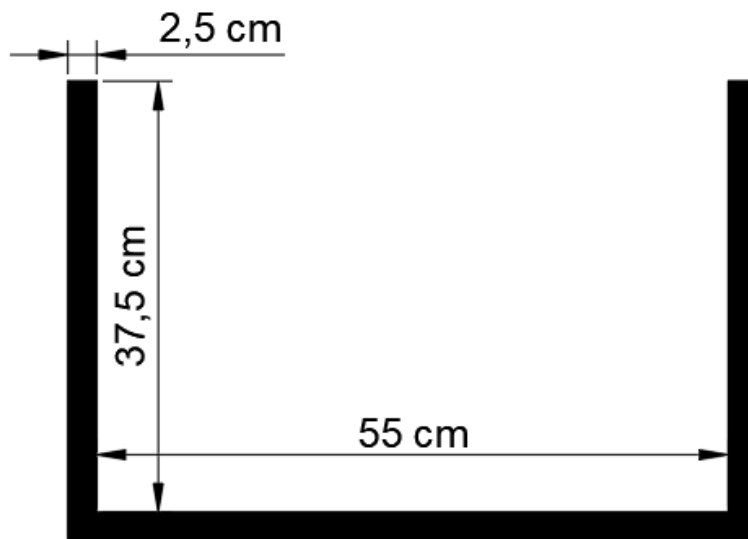
La caja se confeccionó empleando madera trípex de grado C, reforzada lateralmente con clavos de acero, con consideraciones respecto a las presiones a las que estaría expuesto el molde durante la ejecución del proceso de compactación. Las dimensiones externas de la caja son las siguientes: ancho de 60 cm, longitud de 60 cm y altura de 40 cm. Dado que el espesor de la madera es de 2.5 cm, las dimensiones internas del molde son las siguiente: ancho de 55 cm, longitud de 55 cm y altura de 37.5 cm Estas dimensiones permitirán la realización de ensayos en un volumen que refleje de manera representativa las características del suelo bajo estudio.

$$\text{Volumen de la caja} = (0.55 \text{ m}) * (0.55 \text{ m}) * (0.375 \text{ m}) = 0.11 \text{ m}^3$$



**Figura 22.** Dimensiones externas de la caja de compactación

**Elaborado por:** Jefferson Nono



**Figura 23.** Dimensiones internas de la caja de compactación

**Elaborado por:** Jefferson Nono

### 3.3.2 REFORZAMIENTO DE LA CAJA

Con el objetivo de prevenir posibles rupturas durante el proceso de compactación, se determinó la necesidad de fortalecer la caja mediante el uso zunchos laterales con de alambre galvanizado de calibre 14 entorchado. Se llevó a cabo el trenzado del alambre para luego envolver el perímetro de la caja. Además, se utilizaron zunchos de alfajías de

madera de 4x4 cm en el perímetro de la caja, garantizando así una mayor resistencia estructural.

Este procedimiento se implementó para reforzar la caja frente a las tensiones generadas durante las operaciones de compactación.



**Figura 24.** Reforzamiento lateral con alambre de la caja de compactación

**Elaborado por:** Jefferson Nono



**Figura 25.** Reforzamiento lateral con alfajías de madera de la caja de compactación

**Elaborado por:** Jefferson Nono

### **3.4 PREPARACIÓN DE LA MASA DE SUELO**

#### **3.4.1 TAMIZADO Y SECADO**

Para cada variación en la cantidad de agua, se determinó una masa específica seca de 100 kg, teniendo en consideración el volumen del molde, con el propósito de asegurar una provisión adecuada de suelo al realizar la compactación.

Para garantizar una distribución homogénea del agua en la mezcla, se procedió a tamizar la masa de suelo a través del tamiz número 4. Este paso facilita la uniformidad en la mezcla, permitiendo que humedad se reparta de manera equitativa en toda la masa de suelo.

Posteriormente, se tamizó el suelo para someterlo a un proceso de secado en un horno, con la finalidad de reducir su contenido de humedad inicial a cero. Este enfoque asegura condiciones controladas para el inicio del proceso de compactación y proporciona una base uniforme para evaluar los cambios en el nivel de humedad durante los ensayos.



**Figura 26.** Bandejas de secado

**Elaborado por:** Jefferson Nono





**Figura 27.** Horno de secado por ventilación

**Elaborado por:** Jefferson Nono

### 3.4.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DE ESTUDIO

Se eligieron cuatro puntos en la curva de compactación basados en los resultados del ensayo Proctor de la muestra de suelo de la zona 2. Dos puntos se ubicaron antes del punto de humedad óptima para simular las condiciones de sol. Otros dos puntos se colocaron después del punto de humedad óptima para simular las condiciones de lluvia. Estos puntos determinaron las cantidades específicas de humedad requeridas. Seguidamente, se calculó cuánta agua debía añadirse por cada 100 kg de masa de suelo seco. Se utilizó la Ecuación 3 para esta tarea y considerando que la muestra tiene un 17.8 % de humedad óptima.

**Tabla 11.** Puntos a evaluar

<b>PUNTOS A EVALUAR</b>				
<b>PUNTO</b>	<b><math>W_w</math> (%)</b>	<b><math>W_{ss}</math> (kg)</b>	<b><math>W_w</math> (kg)</b>	<b><math>W_h</math> (kg)</b>
<b>1</b>	12	100	12	112
<b>2</b>	16,5	100	16,5	116,5
<b>3</b>	20	100	20	120
<b>4</b>	24,5	100	24,5	124,5

**Elaborado por:** Jefferson Nono

Utilizando una probeta de un litro, se añadió la cantidad de agua necesaria a la masa de suelo seco según los cálculos previos. Posteriormente, se llevó a cabo la mezcla de ambos componentes hasta lograr una uniformidad adecuada en la mezcla resultante.



**Figura 28.** Probeta de un litro para dosificación de agua

**Elaborado por:** Jefferson Nono



**Figura 29.** Preparación del contenido de humedad en el suelo

**Elaborado por:** Jefferson Nono

Se optó por dejar reposar el suelo húmedo durante dos días dentro de una funda plástica. Este periodo permitió que el agua se distribuya de manera uniforme por toda la masa de suelo, asegurando una distribución homogénea antes de continuar con el proceso.



**Figura 30.** Enfundado de la masa de suelo para conservación

**Elaborado por:** Jefferson Nono

### **3.5 COMPACTACIÓN DE LA MASA DE SUELO**

#### **3.5.1 CAPAS DE COMPACTACIÓN**

Se decidió trabajar con una capa de compactación de entre 30 a 35 centímetros. Esta altura nos permitirá disponer de un espacio libre adecuado en la caja para realizar los ensayos de densidad de campo.



**Figura 31.** Capa de compactación

Elaborado por: Jefferson Nono

### 3.5.2 COMPACTADOR

Se seleccionó un compactador de impacto para llevar a cabo la investigación, ya que se considera que es la maquinaria más apropiada para el trabajo en laboratorio y que permite observar el efecto esperado. El compactador elegido es un apisonador de la marca Honda Gx modelo SR80.

**Tabla 12.** Especificaciones técnicas del compactador de impacto

<b>Motor</b>	Gasolina
<b>Potencia del motor (HP)</b>	6.5
<b>Peso (Kg)</b>	80
<b>Fuerza de impacto (KN)</b>	12
<b>Tasa de impacto (gmp)</b>	450-660
<b>Trazo de salto (mm)</b>	45
<b>Tamaño del zapato (cm)</b>	30
	28

Elaborado por: Jefferson Nono

### 3.5.3 ENERGÍA DE COMPACTACIÓN

Se empleó la Ecuación 5 para determinar el peso específico seco necesario con el fin de cumplir con el 95% del valor obtenido mediante el ensayo Proctor. De donde se obtiene que el Peso unitario seco de compactación en campo mínimo requerido es de 13,87 KN/m<sup>3</sup>.

**Tabla 13.** Peso unitario seco de compactación en campo requerido

<b>Peso unitario seco de compactación máximo obtenido en el laboratorio(KN/m3)</b>	14,6
<b>Compactación relativa (%)</b>	95
<b>Peso unitario seco de compactación en campo (KN/m3)</b>	13,87

**Elaborado por:** Jefferson Nono

Para calcular la energía de compactación requerida, se partió del resultado del ensayo Proctor y se utilizó la Ecuación 2, junto con las especificaciones técnicas del compactador. Esto permitió determinar el tiempo de compactación necesario para alcanzar el peso específico seco requerido, según las normativas ecuatorianas.

**Tabla 14.** Tiempo de compactación necesario

<b>Fuerza de impacto</b>	12	KN
<b>Energía por impacto</b>	540	Julio
<b>Frecuencia de vibración</b>	120	gpm
	2	hz
<b>Tiempo de compactación</b>	59	s
	0.98	min
<b>Número de capas compactadas</b>	1	
<b>Volumen a compactar</b>	0.11	m3
<b>Energía de compactación</b>	601.84	KJ/m3
	601.84	KN- m/m3

**Elaborado por:** Jefferson Nono

Se determino que se deben compactar por lo menos 59 segundos para lograr el grado de compactación necesario para el trabajo de investigación. Además, se realizó una calibración adicional mejorar la determinación del tiempo necesario, como se detalló anteriormente.

Para la calibración, partimos de los 59 segundos calculados con la Ecuación 2. Al determinar con el densímetro nuclear la densidad seca máxima de la masa de suelo utilizada para la calibración, se obtuvo un valor de 1125 kg/cm<sup>3</sup>, el cual es inferior al necesario. Por lo tanto, se procedió a compactar nuevamente la masa de suelo durante 30 segundos adicionales, lo que resultó en una densidad seca máxima de 1446 kg/cm<sup>3</sup>. La

calibración reveló que es necesario compactar cada masa de suelo durante al menos 90 segundos para conseguir la densidad seca máxima requerida en el trabajo de investigación curricular.



**Figura 32.**Proceso de compactación

**Elaborado por:** Jefferson Nono

## **3.6 ENSAYOS DE CAMPO**

### **3.6.1 CONO Y ARENA**

El ensayo se lo realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR), basados en la Norma ASTM D1556 (ASTM, Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method , 2024) .

Este ensayo permitirá conocer los valores de la densidad seca máxima de las masas de suelo con cada contenido de humedad considerado para los ensayos, lo que posibilitará comparar estos valores posteriormente



**Figura 33.** Equipo del ensayo de Cono y Arena

**Elaborado por:** Jefferson Nono

### **3.6.2 SONDEO NUCLEAR (DENSÍMETRO NUCLEAR)**

El ensayo se lo realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR), basados en la Norma ASTM D6938 (ASTM, Standard Test Methods for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth), 2023) .



**Figura 34 .**Densímetro nuclear

**Elaborado por:** Jefferson Nono

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 RESULTADO DEL ENSAYO DE CAMPO CON CONO Y ARENA

Los resultados obtenidos con la metodología mencionada de cada punto de la curva de compactación para las masas de suelo de la zona 2 son los siguientes:

**Tabla 15.** Resultados del ensayo de campo con Cono y Arena

<b>Ensayo de densidad de campo con Cono y Arena</b>				
<b>Datos del ensayo</b>	<b>Punto</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Masa de la arena del cono [gr]</b>	1579,0	1579,0	1579,0	1579,0
<b>Masa del tarro + Cono + Arena (antes del ensayo) [gr]</b>	6815,2	6706,2	6572,2	6429,2
<b>Masa del botellón + Cono + Arena (después del ensayo) [gr]</b>	2627,7	2526,6	2399,3	2244,8
<b>Masa del suelo húmedo extraído del hoyo [gr]</b>	2238,0	2479,5	2559,0	2557,3
<b>Humedad del suelo extraído del hoyo [%]</b>	12,8	16,7	20,8	25,3
<b>Masa seca extraída [gr]</b>	1984,0	2124,7	2118,4	2040,9
<b>Peso específico de la arena [gr/cm<sup>3</sup>]</b>	1,62	1,62	1,62	1,62
<b>Volumen del hoyo [cm<sup>3</sup>]</b>	1610,2	1605,3	1601,2	1608,3
<b>Masa de la arena del Hoyo [gr]</b>	2608,5	2600,6	2593,9	2605,4
<b>Densidad húmeda de campo [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1389,9	1544,6	1598,2	1590,0
<b>Densidad seca de campo [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1232,2	1323,6	1323,0	1269,0

Elaborado por: Jefferson Nono

#### 4.2 RESULTADO DEL ENSAYO DE CAMPO CON SONDA NUCLEAR

Los resultados obtenidos con la metodología mencionada de cada punto de la curva de compactación para las masas de suelo de la zona 2 se muestran en las siguientes tablas:



**Tabla 16.**Resultados del ensayo de campo con Sonda nuclear del Punto 1

<b>Punto 1</b>	
<b>Medición 1</b>	
Densidad seca máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1211
Densidad húmeda máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1359
Contenido de humedad [%]	12,2
<b>Medición 2</b>	
Densidad seca máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1205
Densidad húmeda máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1350
Contenido de humedad [%]	12
<b>Promedio</b>	
Densidad seca máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1208
Densidad húmeda máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1354
Contenido de humedad [%]	12,1

Elaborado por: Jefferson Nono

**Tabla 17.**Resultados del ensayo de campo con Sonda nuclear del Punto 2

<b>Punto 2</b>	
<b>Medición 1</b>	
Densidad seca máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1313
Densidad húmeda máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1526
Contenido de humedad [%]	16,2
<b>Medición 2</b>	
Densidad seca máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1295
Densidad húmeda máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1501
Contenido de humedad [%]	15,9
<b>Promedio</b>	
Densidad seca máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1304
Densidad húmeda máxima [kg/cm <sup>3</sup> ]	1513,5
Contenido de humedad [%]	16,1

Elaborado por: Jefferson Nono

**Tabla 18.**Resultados del ensayo de campo con Sonda nuclear del Punto 3

<b>Punto 3</b>	
<b>Medición 1</b>	
<b>Densidad seca máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1306
<b>Densidad húmeda máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1566
<b>Contenido de humedad [%]</b>	19,9

**Elaborado por:** Jefferson Nono

**Tabla 19.**Resultados del ensayo de campo con Sonda nuclear del Punto 4

<b>Punto 4</b>	
<b>Medición 1</b>	
<b>Densidad seca máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1253
<b>Densidad húmeda máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1556
<b>Contenido de humedad [%]</b>	24,2
<b>Medición 2</b>	
<b>Densidad seca máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1245
<b>Densidad húmeda máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1553
<b>Contenido de humedad [%]</b>	24,7
<b>Promedio</b>	
<b>Densidad seca máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1249
<b>Densidad húmeda máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>	1554
<b>Contenido de humedad [%]</b>	24,5

**Elaborado por:** Jefferson Nono

En los puntos donde se realizaron dos mediciones, se realizó un promedio para obtener resultados más reales.

### **4.3 COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Al comparar el contenido de humedad obtenido mediante la Sonda Nuclear con el contenido de humedad requerido para la realización de la investigación, como se indica en la Tabla 20, se evidencia que la diferencia entre las determinaciones tiene un error de -2.7% hasta un +0.8% del contenido de humedad requerida. Esta mínima disparidad indica

que el contenido de humedad es adecuado para la ejecución del trabajo de integración curricular.

Al comparar el contenido de humedad obtenido mediante el Cono y Arena con el contenido de humedad requerido para la realización de la investigación, como se indica en la Tabla 21, se evidencia que la diferencia entre las determinaciones tiene un error de +1.2% hasta un +6.7% del contenido de humedad requerida. Esta mínima disparidad indica que el contenido de humedad es adecuado para el desarrollo del trabajo de integración curricular.

Al comparar el contenido de humedad obtenido mediante la Sonda Nuclear y el ensayo del Cono y Arena, según lo indicado en la tabla 22, se observa que el contenido de humedad obtenido con el Cono y Arena, es decir mediante secado en horno es ligeramente mayor que el obtenido con la Sonda Nuclear, con una diferencia de entre un 4% y un 5.8%.o

**Tabla 20.** Comparación del contenido de humedad requerida y la obtenida con la Sonda Nuclear

<b>Comparación del contenido de humedad [%]</b>			
	<b>Sonda nuclear</b>	<b>Requerida</b>	<b>Variación</b>
<b>Punto 1</b>	12,1	12	+0,8%
<b>Punto 2</b>	16,05	16,5	-2,7%
<b>Punto 3</b>	19,9	20	-0,5%
<b>Punto 4</b>	24,45	24,5	-0,2%

**Elaborado por:** Jefferson Nono

**Tabla 21.** Comparación del contenido de humedad requerida y la obtenida con el Cono y Arena

<b>Comparación del contenido de humedad [%]</b>			
	<b>Cono y Arena</b>	<b>Requerida</b>	<b>Variación</b>
<b>Punto 1</b>	12,8	12	+6,7%
<b>Punto 2</b>	16,7	16,5	+1,2%
<b>Punto 3</b>	20,8	20	+4,0%
<b>Punto 4</b>	25,3	24,5	+3,3%

**Elaborado por:** Jefferson Nono

**Tabla 22.** Comparación del contenido de humedad obtenida con el Cono y Arena y la obtenida con la Sonda Nuclear

<b>Comparación del contenido de humedad [%]</b>			
	<b>Cono y Arena</b>	<b>Sonda nuclear</b>	<b>Variación porcentual</b>
<b>Punto 1</b>	12,8	12,1	5,8%
<b>Punto 2</b>	16,7	16,05	4,0%
<b>Punto 3</b>	20,8	19,9	4,5%
<b>Punto 4</b>	25,3	24,45	3,5%

**Elaborado por:** Jefferson Nono

#### **4.4 Comparación de la densidad seca máxima**

Al comparar la densidad seca máxima obtenida mediante la Sonda Nuclear y el ensayo del Cono y Arena, como se indica en la Tabla 23, la densidad seca máxima obtenida con el Cono y Arena es ligeramente mayor que la obtenida con la Sonda Nuclear, con una diferencia entre un 1% y un 2%. Lo cual nos indica poca divergencia entre los datos obtenidos mediante los ensayos de densidad de campo.

Al comparar la densidad seca máxima obtenida mediante la Sonda Nuclear y la obtenida con el ensayo Proctor Estándar, como indica la Tabla 24, el error porcentual disminuye a medida que se incrementa el contenido de humedad. La diferencia porcentual es cercana al -17.82% en el punto con menor contenido de humedad y disminuye hasta aproximadamente el -10.31% en el punto de mayor contenido de humedad.

Al comparar la densidad seca máxima obtenida mediante el Cono y Arena y la obtenida con el ensayo Proctor Estándar, como indica la Tabla 25, el error porcentual disminuye a medida que se incrementa el contenido de humedad. La diferencia porcentual es cercana al -16.18% en el punto con menor contenido de humedad y disminuye hasta aproximadamente el -9.16% en el punto de mayor contenido de humedad.

Estos resultados señalan que se operó con una energía de compactación inferior a la empleada en el ensayo Proctor Estándar, lo que evidencia las dificultades para reproducir los resultados obtenidos en el laboratorio. Además, la variación observada entre los puntos con menor y mayor contenido de humedad sugiere que a niveles superiores de humedad, las arcillas arenosas poco plásticas (CL) experimentan un reacomodo de partículas más efectivo.

**Tabla 23.** Comparación de la densidad seca máxima obtenida con el Cono y Arena y la obtenida con la Sonda Nuclear

<b>Comparación de la densidad seca máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>			
	<b>Cono y Arena</b>	<b>Sonda nuclear</b>	<b>Variación porcentual</b>
<b>Punto 1</b>	1232	1208	+2,0%
<b>Punto 2</b>	1324	1304	+1,5%
<b>Punto 3</b>	1323	1306	+1,3%
<b>Punto 4</b>	1269	1253	+1,3%

**Elaborado por:** Jefferson Nono

**Tabla 24.** Comparación de la densidad seca máxima obtenida con la Sonda Nuclear y la obtenida con el Proctor estándar

<b>Comparación de la densidad seca máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>			
	<b>Sonda nuclear</b>	<b>Proctor estándar</b>	<b>Diferencia porcentual [%]</b>
<b>Punto 1</b>	1208	1470	-17,82
<b>Punto 2</b>	1304	1487	-12,29
<b>Punto 3</b>	1306	1479	-11,67
<b>Punto 4</b>	1253	1397	-10,31

**Elaborado por:** Jefferson Nono

**Tabla 25.** Comparación de la densidad seca máxima obtenida con el Cono y Arena y la obtenida con el Proctor estándar

<b>Comparación de la densidad seca máxima [kg/cm<sup>3</sup>]</b>			
	<b>Cono y Arena</b>	<b>Proctor estándar</b>	<b>Diferencia porcentual [%]</b>
<b>Punto 1</b>	1232	1470	-16,18
<b>Punto 2</b>	1324	1487	-10,97
<b>Punto 3</b>	1323	1479	-10,52
<b>Punto 4</b>	1269	1397	-9,16

**Elaborado por:** Jefferson Nono

## 4.5 COMPACTACIÓN RELATIVA OBTENIDA CON LOS ENSAYOS DE DENSIDAD DE CAMPO

La compactación relativa medida con el resultado de la Sonda Nuclear, como se indica en la Tabla 26, varía desde el 84% hasta el 93%. Es importante destacar que a medida que aumenta el contenido de humedad, también aumenta la compactación relativa.

La compactación relativa obtenida con el Cono y Arena, como se indica en la Tabla 27, varía desde el 86% hasta el 94%. Es importante destacar que a medida que aumenta el contenido de humedad, también aumenta la compactación relativa.

Al comparar la compactación relativa obtenida con la Sonda Nuclear y el Cono Arena, como indica la Tabla 28, se puede observar que la compactación relativa obtenida con el Cono y Arena es ligeramente mayor que la compactación relativa obtenida con la Sonda Nuclear, variando entre un 1% y un 2%. Lo cual es un resultado previsible debido a los resultados de las densidades secas máximas obtenidas.

**Tabla 26.** Compactación relativa obtenida con la medición de la Sonda Nuclear

Compactación relativa-Sonda Nuclear			
	Densidad seca máxima (Campo)	Densidad seca máxima (Laboratorio)	Compactación relativa
Punto 1	1208	1489	81%
Punto 2	1304	1489	88%
Punto 3	1306	1489	88%
Punto 4	1253	1489	84%

Elaborado por: Jefferson Nono

**Tabla 27.** Compactación relativa obtenida con los valores del Cono y Arena

Compactación relativa-Cono y Arena			
	Densidad seca máxima (Campo)	Densidad seca máxima (Laboratorio)	Compactación relativa
Punto 1	1232	1489	83%
Punto 2	1324	1489	89%
Punto 3	1323	1489	89%
Punto 4	1269	1489	85%

Elaborado por: Jefferson Nono

**Tabla 28.** Comparación de la compactación relativa obtenida con el Cono y Arena y la Sonda Nuclear

<b>Comparación de la compactación relativa</b>			
	<b>Compactación relativa Sonda Nuclear</b>	<b>Compactación relativa Cono y Arena</b>	<b>Variación porcentual</b>
<b>Punto 1</b>	81%	83%	1,6%
<b>Punto 2</b>	88%	89%	1,3%
<b>Punto 3</b>	88%	89%	1,1%
<b>Punto 4</b>	84%	85%	1,1%

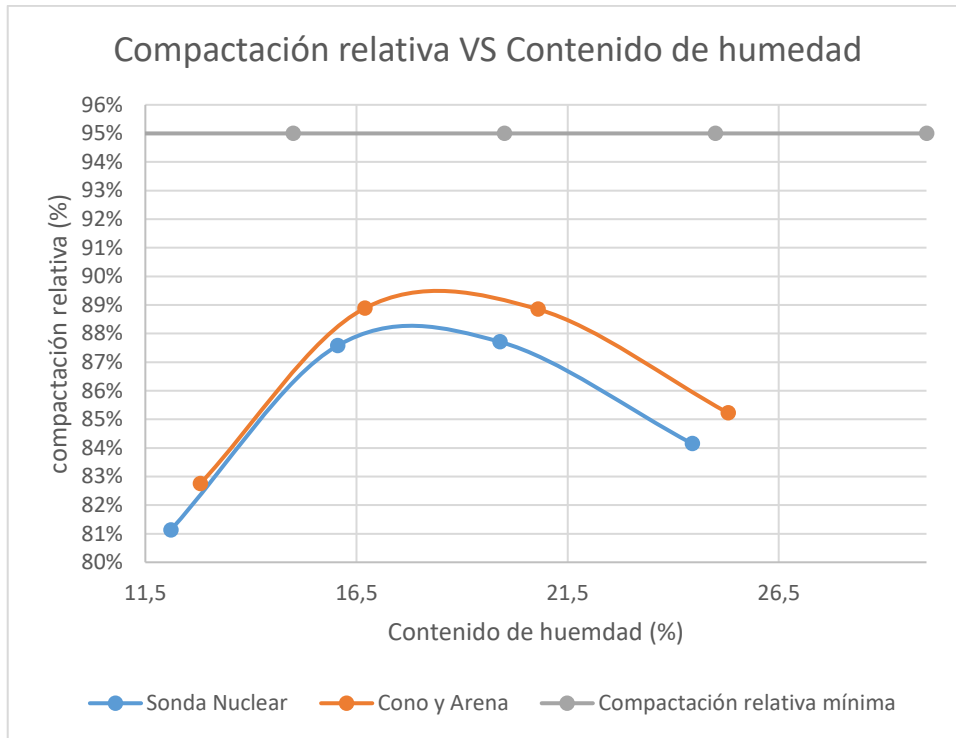
**Elaborado por:** Jefferson Nono

#### **4.6 VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD SECA Y GRADO DE COMPACTACIÓN CON RESPECTO AL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Los resultados presentados anteriormente indican que cambios en el contenido de humedad del suelo en el campo, provocados por fenómenos climáticos como la exposición al sol o la lluvia, generan variaciones en el grado de compactación del suelo.

Tanto la lluvia como la exposición al sol ocasionan que la compactación relativa del suelo sea inferior al 95% de la obtenida en laboratorio y requerida por la normativa ecuatoriana. Sin embargo, la exposición al sol se presenta como el escenario más crítico, ya que produce una disminución significativa en el contenido de humedad, resultando en valores de compactación relativa bajos que llegan al 81%. Por otro lado, la lluvia incrementa el contenido de humedad, lo que reduce la compactación relativa, aunque este efecto es menos crítico debido a que cuando el contenido de humedad llega al 24.5%, la compactación relativa alcanza valores de alrededor del 84%. Con una mayor energía de compactación si se podría llegar a valores de compactación relativa mayores al 95% de la obtenida en laboratorio.

Al comparar los resultados, como se indica en la Figura 35 existe diferencia en los efectos provocados por la lluvia y la exposición al sol, siendo esta última más crítica en la compactación de suelos del tipo arcilla arenosa poco plástica (CL).

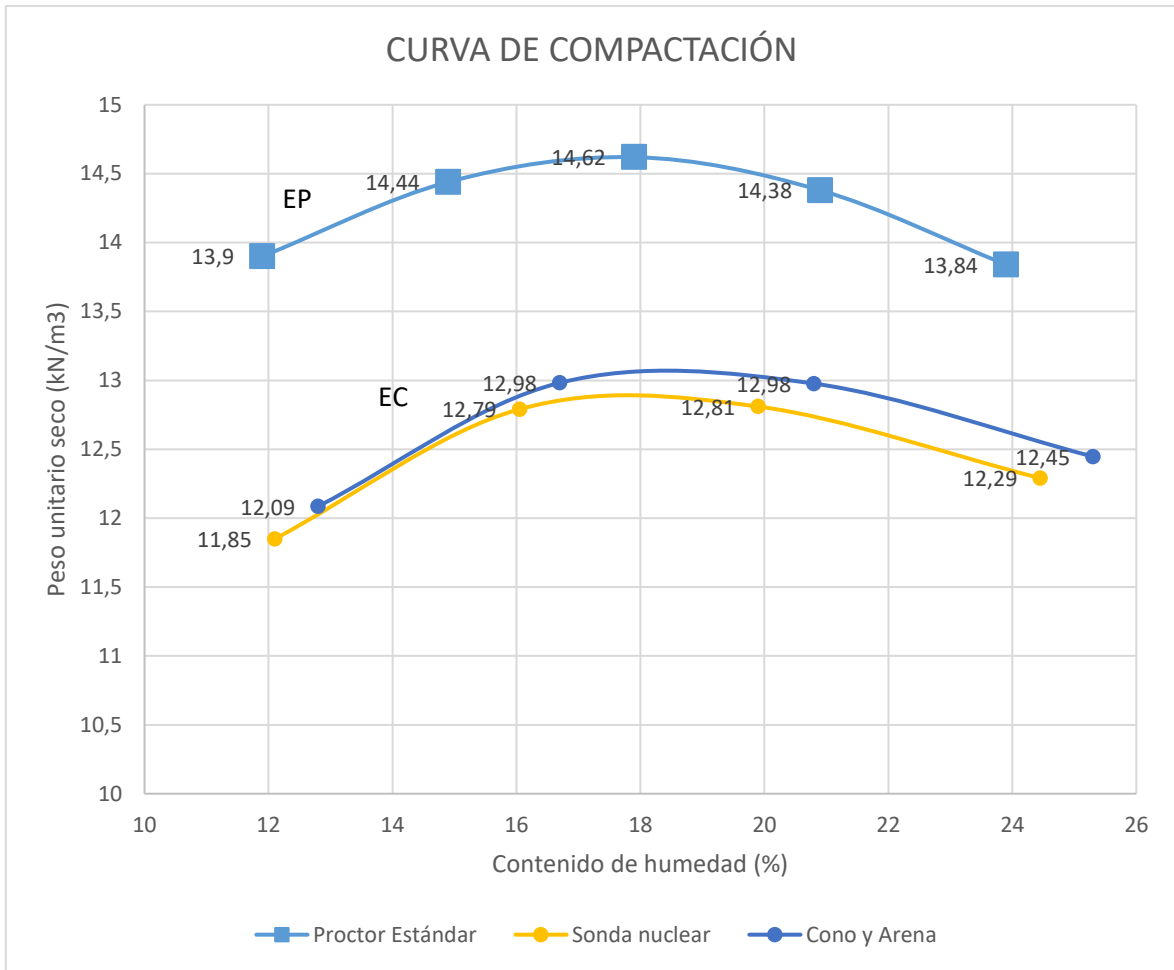


**Figura 35.**Gráfica de la compactación relativa vs el contenido de humedad

**Elaborado por:** Jefferson Nono

Las curvas de compactación obtenidas con las mediciones de la Sonda Nuclear y el Cono y Arena nos indican que se trabajó con una energía de compactación menor a la energía del ensayo Proctor estándar como se observa en la Figura 36. La comparación no es tan acertada por cuanto con el mecanismo utilizado no se alcanza el peso unitario seco máximo obtenido con el ensayo Proctor estándar.





EP=Energía del Proctor estándar

EC=Energía del compactador

**Figura 36.**Gráfica de comparación entre las curvas de compactación

**Elaborado por:** Jefferson Nono

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES

- Se concluye que el estudio de microzonificación del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito, empleado para la realización del trabajo de integración curricular, permitió de manera satisfactoria la obtención de los resultados deseados. Esto se debe a que se encontraron masas de suelo del tipo arcilla arenosa poco plástica (CL) en cuatro de las cinco zonas seleccionadas del estudio de microzonificación del DMQ.
- Los criterios establecidos para la recolección de las muestras de las masas de suelo resultaron exitosos, ya que durante la realización de los ensayos de laboratorio no se detectó presencia de material orgánico. Asimismo, los procedimientos establecidos para el transporte y conservación de las muestras fueron óptimos, ya que estas no sufrieron alteraciones durante su traslado al laboratorio.
- En las muestras recogidas en cada zona, se llevaron a cabo una serie de ensayos para determinar sus propiedades. Estos incluyeron el análisis granulométrico conforme a la Norma ASTM 6913, la determinación del contenido de humedad siguiendo la Norma ASTM D2216, y la realización de los ensayos de límite líquido y plástico de acuerdo con la Norma ASTM D4318. Estos ensayos proporcionaron los datos necesarios para realizar la clasificación SUCS de las muestras de suelo de cada zona y así determinar sus propiedades. Teniendo como resultado la presencia de arcilla arenosa poco plástica (CL) en las zonas 2,3,4 y 5. Se evidencia que las características de las masas de suelo de las zonas 2,3,4 y 5, según la literatura y la normativa ASTM presentan propiedades propias de la arcilla arenosa poco plástica (CL)
- El estudio de Microzonificación usado como base de estudio, fue apropiado porque de las cinco zonas seleccionadas, cuatro presentaban suelo caracterizado como arcilla arenosa poco plástica (CL). Para la selección de la zona adecuada, se consideraron como criterios principales la disponibilidad de masa de suelo in situ para su extracción, la presencia de material orgánico y la accesibilidad al sitio. Tras un análisis exhaustivo, se determinó que la Zona 2 cumplía de manera óptima con los parámetros mencionados anteriormente. Los criterios de selección de la zona y los procedimientos establecidos resultaron adecuados, ya que permitieron obtener

de manera satisfactoria la masa de suelo requerida para llevar a cabo la investigación del trabajo de integración curricular.

- Se llevó a cabo el ensayo Proctor estándar, siguiendo las pautas establecidas en la Norma ASTM D1557. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: un peso unitario seco máximo de 14.60 kN/m<sup>3</sup>, una densidad seca máxima de 1489 kg/m<sup>3</sup>, un contenido de humedad óptimo de 17.8%, y se generó la curva de compactación, la cual se presenta en la Figura 19. Estos resultados son consistentes con lo esperado según la literatura para un suelo de tipo arcilla arenosa poco plástica (CL).
- Se observó que el grado de compactación en torno a la humedad óptima disminuyó. En los puntos donde el contenido de humedad fue menor al óptimo, el grado de compactación medido con la Sonda Nuclear disminuyó aproximadamente un 15%, mientras que con el Cono y Arena disminuyó alrededor del 14% en comparación con el grado de compactación obtenido en el ensayo Proctor estándar. Por otro lado, al considerar contenidos de humedad superiores al óptimo, el grado de compactación disminuyó. Sin embargo, al alcanzar un contenido de humedad cercano al 24%, tanto la sonda nuclear como el Cono y Arena mostraron una ligera disminución cercana al 1% en el grado de compactación en comparación con el ensayo Proctor estándar. Estos resultados sugieren que el grado de compactación disminuye de manera más pronunciada al disminuir el contenido de humedad.
- Se llevaron a cabo los ensayos de densidad de campo utilizando el método del Cono y Arena, según lo establecido en la Norma ASTM D1556, y el método de la Sonda Nuclear, basado en la Norma ASTM D6938. El propósito de estos ensayos fue obtener los valores de densidad seca máxima para los cuatro niveles de contenido de humedad evaluados, así como determinar el contenido de humedad presente en cada masa de suelo sujeta a ensayo. Donde se obtuvo como resultado una variación del entre el 3.5% y el 5.8% al comparar el contenido de humedad obtenida por ambos métodos, donde el contenido de humedad obtenido mediante el ensayo de Cono y arena mediante secado al horno fue ligeramente mayor en todos los casos, al obtenido mediante el ensayo de Sonda Nuclear.
- Al comparar los resultados obtenidos de los ensayos de densidad de campo realizados mediante el método del Cono y Arena, basado en la Norma ASTM D1556, y el método de la Sonda Nuclear, conforme a la Norma ASTM D6938, se observó que el contenido de humedad determinado con el Cono y Arena fue ligeramente mayor en comparación con el obtenido mediante la Sonda Nuclear, con

una diferencia de hasta un 5.8%. Asimismo, se encontró que la densidad seca máxima obtenida con el método del Cono y Arena fue mayor que la obtenida con la Sonda Nuclear, con una diferencia de hasta un 2%. Sin embargo, los valores obtenidos a través de ambos métodos mostraron una relación cercana, sin una variación considerable entre ellos.

- Se infiere que la variación en los resultados obtenidos con el Cono y Arena y la Sonda Nuclear. Puede ser ocasionada a que se realizaron dos puntos de medición al realizar el ensayo de Sonda Nuclear, y la literatura sugiere que se deberían hacer 3 o más puntos para que los resultados obtenidos sean más exactos. Debido a las dimensiones del molde utilizado en la investigación, se podía realizar un máximo de dos mediciones.
- Se concluyó que el tiempo de compactación obtenido mediante la Ecuación 2, de acuerdo con la literatura, resultó insuficiente. Esto se evidencia en las curvas de compactación obtenidas en los ensayos de densidad de campo, las cuales muestran que se trabajó con una energía de compactación menor a la requerida por el Proctor estándar. Estos resultados sugieren que la metodología empleada para determinar el tiempo de compactación necesario podría no haber sido eficaz, además de resaltar la dificultad de replicar en el campo los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.
- La compactación relativa correspondiente a cada contenido de humedad obtenido en los ensayos de densidad de campo considerados en la investigación resultó ser menor al 95% del valor requerido por la normativa ecuatoriana. Se observó que, al disminuir el contenido de humedad, tanto para los resultados obtenidos con el método del Cono y Arena como con la Sonda Nuclear, los valores de compactación relativa disminuyeron, alcanzando aproximadamente un 81% y un 84%, respectivamente. Por otro lado, al aumentar el contenido de humedad, tanto para los resultados del Cono y Arena como para los de la Sonda Nuclear, se obtuvieron valores de compactación relativa cercanos al 83% y al 85%. Estos resultados sugieren como podemos observar en la Figura 35 que la compactación relativa necesaria, según la normativa ecuatoriana, experimenta una disminución más significativa cuando el contenido de humedad disminuye.
- Los resultados del trabajo de investigación curricular pueden relacionarse con los resultados esperados en proyectos de ingeniería civil que requieran un proceso de mejora del suelo mediante compactación, especialmente en masas de suelo de tipo

arcilla arenosa poco plástica (CL). Es importante considerar las condiciones climáticas presentes en el sitio del proyecto, ya que estas pueden influir en la variación del contenido de humedad en la masa de suelo. En este sentido, se observa que la lluvia tiende a aumentar el contenido de humedad en la masa de suelo, mientras que la exposición al sol puede disminuirlo. En cualquiera de los dos casos la densidad seca máxima obtenida disminuye por debajo de la requerida, sin embargo, se concluye que el caso de una condición climática de sol es más crítico que la lluvia.

- De acuerdo con la normativa ecuatoriana, que exige una compactación relativa del 95%, se debe tener en cuenta que la ocurrencia de eventos climáticos como lluvias intensas o períodos prolongados de sol puede alterar el contenido de humedad del suelo. Como resultado, la compactación relativa puede disminuir por debajo de los valores requeridos por la normativa, lo que representa un desafío en términos de cumplimiento en el tiempo de compactación, así como de los estándares de calidad y seguridad en la construcción. En este contexto, se destaca que la exposición prolongada al sol representa la condición climática menos favorable para lograr la compactación relativa y la densidad seca máxima requeridas.

## CAPITULO VI

### 6. RECOMENDACIONES

- Al determinar la zona de extracción de la masa de suelo, se recomienda eliminar la capa superficial hasta alcanzar únicamente la masa de suelo. Esta práctica es útil debido a que la capa superficial puede estar contaminada con materia orgánica o inorgánica, lo que podría afectar la representatividad de las muestras obtenidas y el resultado en laboratorio.
- Se aconseja tamizar la masa de suelo inmediatamente después de su extracción. El almacenamiento prolongado de la masa de suelo puede provocar la pérdida de humedad y su compactación, lo que dificultará posteriormente la tarea de homogeneizar la humedad en la muestra. Por lo tanto, es recomendable tamizarla sin demora para preservar sus propiedades iniciales y facilitar su manipulación en ensayos posteriores.
- Se recomienda reforzar el molde utilizado para la compactación experimental de la masa de suelo, ya que estará sometido a grandes presiones durante el proceso de compactación y existe la posibilidad de que se rompa. Reforzar el molde garantizará su integridad estructural y evitará posibles fallos durante el procedimiento de compactación.
- Se aconseja realizar el proceso de compactación utilizando un compactador por impacto en lugar de un pisón manual. Esto se debe al considerable esfuerzo físico requerido al utilizar un pisón manual para alcanzar la energía de compactación necesaria en los ensayos, así como a la dificultad de replicar de manera consistente la misma energía de compactación en todos los ensayos. Por otro lado, el compactador por impacto ofrece una mayor capacidad para controlar la energía de compactación transmitida al suelo, lo que contribuye a obtener resultados más precisos y reproducibles en el proceso de compactación.
- Para homogeneizar el contenido de humedad en toda la masa de suelo utilizada en cada ensayo, se recomienda dejar reposar la muestra dentro de doble funda plástica durante al menos dos días. Este procedimiento garantizará un contenido de humedad más uniforme en toda la masa de suelo, lo que facilitará la obtención de resultados coherentes y consistentes durante la realización de los ensayos.
- Es aconsejable que el compactador por impacto sea manejado por dos personas, con el fin de poder controlar el proceso de compactación de manera más efectiva.

- Se recomienda realizar la calibración de los equipos utilizados en los ensayos antes de llevar a cabo cualquier prueba, con el propósito de garantizar la precisión y coherencia de los resultados obtenidos. La calibración adecuada de los equipos asegura que las mediciones realizadas sean confiables y consistentes, lo que contribuye a la validez y fiabilidad de los datos obtenidos durante el proceso de investigación.

## CAPITULO VII

### 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejandro Moscoso, W. M. (2022). Análisis de energía de compactación en conformación de bases para pavimento rígido urbano en el distrito de Challhuahuacho, Apurímac. *Análisis de energía de compactación en conformación de bases para pavimento rígido urbano en el distrito de Challhuahuacho, Apurímac*. Huancayo, Arequipa, Perú.
- ASTM. (16 de Agosto de 2017). *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. Obtenido de <https://www.astm.org/d6913-04.html>
- ASTM. (17 de Abril de 2018). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. Obtenido de <https://www.astm.org/d4318-17e01.html>
- ASTM. (19 de Marzo de 2019). *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*. Obtenido de <https://www.astm.org/d2216-19.html>
- ASTM. (5 de Junio de 2021). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))*. Obtenido de <https://www.astm.org/d0698-12r21.html>
- ASTM. (17 de Mayo de 2023). *Standard Test Methods for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth)*. Obtenido de <https://www.astm.org/d6938-23.html>
- ASTM. (1 de Febrero de 2024). *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method*. Obtenido de [https://www.astm.org/d1556\\_d1556m-15e01.html](https://www.astm.org/d1556_d1556m-15e01.html)
- Bowles, J. (1981). *Manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil*. Mexico: McGRAW-HILL BOOK.
- Eulalio Juárez Badillo, A. R. (1973). *Fundamentos de la Mecánica e Suelos*. México: Editorial Limusa.
- Flores, J. M. (2014). Validación de la determinación de la densidad in situ, de un tramo del proyecto "Collas-Tababela", utilizando un densímetro eléctrico y comparando los



resultados con un densímetro nuclear y el cono y arena . *Validación de la determinación de la densidad in situ, de un tramo del proyecto "Collas-Tababela", utilizando un densímetro eléctrico y comparando los resultados con un densímetro nuclear y el cono y arena* . Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Católica del Ecuador.

Frateli, M. G. (1993). *Suelos, fundaciones y muros*. Caracas: Colegio de ingenieros .

Jorge Valverde, J. F. (2012). *Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito*. Quito.

Lange, D. (2005). Validation of the Vibrating Hammer for Soil Compaction Control. *Validation of the Vibrating Hammer for Soil Compaction Control*. Johannesburgo, Sudáfrica.

M.Das, B. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Cengage Learning.

REPUBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES*. Quito.


Rodríguez, A. R. (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y autopistas*. México: Liimusa.

Valero, A. L. (1963). *Mécanica de suelos para ingenieros de carreteras y aeropuertos*. Madrid: Alameda.


## **ANEXOS**

# ANEXO I

## Resultados de los ensayos de clasificación SUCS entregados por el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR)



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



---

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS**

Código de Informe: SUCS-23-004-I  
 Fecha de Informe: 2023-09-01

**DATOS DEL CLIENTE**  
 Razón social: Jefferson David Nono Flores  
 Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía

**DATOS DEL PROYECTO**  
 Proyecto: Estudio de la Variabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de los subsustratos  
 Contratante: \*\*\*  
 Contratista: \*\*\*  
 Fiscalizador: \*\*\*  
 Norma: ASTM D2487

Hoja 01 de 04

Teléfono: 2976300

Fecha de ensayo: 2023-07-25  
 Temperatura de secado (°C): 110

Datos de la muestra	
Identificación	Muestra 1 - Guasani
Ubicación	Taluz
Profundidad (m)	---
Tipo de muestra	Atorado
Presencia de material orgánico	No
Presencia de estibas	No
Características de material	Tipo
	Masa (g)
Tamaño máximo de partícula	4,75 mm

Resumen de resultados	
Contenido de humedad (%)	48,7
Límite Líquido (%)	67
Límite Plástico (%)	37
Índice de plasticidad (%)	30
Clasificación SUCS	
MH	Limo arenoso orgánico de alta plasticidad

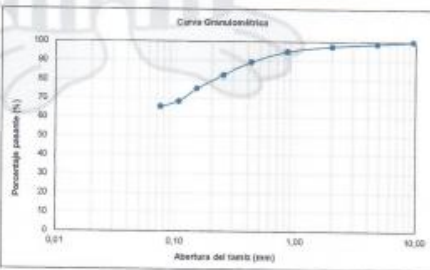
Contenido de humedad ASTM D2231			
La muestra se acondiciona posteriormente sellada	SI	Método B	
	No	1	2
Masa de ensayo menor a masa requerida	No	1	2
Masa original (g)	9,295	9,678	
Masa original y suelo húmedo (g)	117,666	113,271	
Masa original y suelo seco (g)	83,025	80,332	
Contenido de humedad (%)	48,6	48,6	

Método de preparación de la muestra para Límite Líquido y Límite plástico			
Límite Líquido ASTM D 4318	Método Multipunto		Rotador plano (plástico)
	Número de golpes	25	17
Masa original (g)	9,855	9,380	10,198
Masa original y suelo húmedo (g)	15,579	15,154	21,622
Masa original y suelo seco (g)	13,297	12,601	16,969
Contenido de humedad (%)	64,5	67,8	68,7


Límite plástico ASTM D 4318	Contenido Humid	
	1	2
Masa original (g)	9,584	9,422
Masa original y suelo húmedo (g)	18,509	18,223
Masa original y suelo seco (g)	16,439	15,858
Contenido de humedad (%)	36,5	36,4

Resumen de resultados de Granulometría	
Contenido de grava (%)	1
Contenido de arena (%)	33
Contenido de finos (%)	66
Coefficiente de uniformidad, Cu:	---
Coefficiente de curvatura, Cc:	---


Granulometría ASTM #75		
Tamaño Sieve	Método B	
Tamaño	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje pasado (%)
3/8 in	9,500	100
No. 4	4,750	99
No. 10	2,000	97,5
No. 20	0,850	94,9
No. 40	0,425	86,4
No. 60	0,250	82,6
No. 100	0,150	75,2
No. 140	0,106	68,4
No. 200	0,075	65,7
Bandeja	+ 0,075	0



**Observaciones:** El método de procesamiento de la muestra para el ensayo de granulometría se ejecutó al horno. La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación de la muestra, ubicación y profundidad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items analizados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.



Ing. Mercedes Vilacis  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15    Email: lemsur@epn.edu.ec



CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS

Código de Informe: SUCS-23-004-I  
Fecha de Informe: 2023-09-01

Hoja 02 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Jefferson David Nono Flores  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía

Teléfono: 2976300

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de la Variabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de las subrasantes  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*

Norma: ASTM D2487

Fecha de ensayo: 2023-07-26  
Temperatura de secado (°C): 110

Datos de la muestra	
Identificación	Muestra 2 - La Argela
Ubicación	Talud
Profundidad (m)	---
Tipo de muestra	Alterado
Presencia de material orgánico	No
Presencia de estratos	No
Exclusiones de material	---
Masa (g)	---
Tamaño máximo de partícula	4,75 mm

Resumen de resultados	
Contenido de humedad (%)	20,7
Límite Líquido (%)	37
Límite Plástico (%)	11
Índice de plasticidad (%)	26
Clasificación SUCS	
CL	Arcilla arenosa inorgánica de baja plasticidad

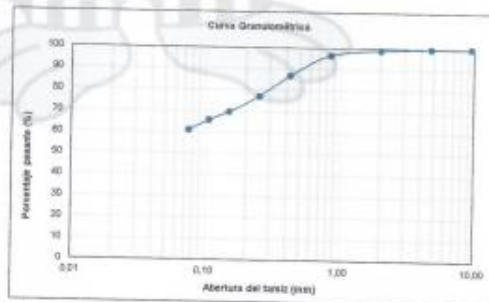
Contenido de humedad ASTM D2216			
La muestra se encuentra heterogéneamente mojada	SI	Método B	
Masa de ensayo menor a masa requerida	No	1	2
Masa cápsula (g)	15,649	10,303	
Masa cápsula y suelo húmedo (g)	119,900	122,121	
Masa cápsula y suelo seco (g)	101,290	102,281	
Contenido de humedad (%)	20,6	20,5	

Método de preparación de la muestra para Límite Líquido y Límite plástico			
Número	Límite Líquido ASTM D 4318		
	Método Multipunto	Rotador plano plástico	
Número de golpes	34	27	17
Masa cápsula (g)	10,090	10,100	9,807
Masa cápsula y suelo húmedo (g)	15,086	14,950	14,271
Masa cápsula y suelo seco (g)	14,150	13,215	14,228
Contenido de humedad (%)	35,4	36,7	26,0

Límite plástico ASTM D 4318	Ensayo Manual	
	1	2
Masa cápsula (g)	13,204	9,949
Masa cápsula y suelo húmedo (g)	16,305	15,323
Masa cápsula y suelo seco (g)	17,685	17,002
Contenido de humedad (%)	17,5	17,2

Resumen de resultados de Granulometría	
Contenido de grava (%)	3
Contenido de arena (%)	29
Contenido de finos (%)	61
Coefficiente de uniformidad, Cu	---
Coefficiente de curvatura, Cc	---

Granulometría ASTM 6913		
Tamizado Simple		Método B
Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje pasado (%)
3/8 in	9,500	100
No. 4	4,750	98,9
No. 10	2,000	95,1
No. 20	0,850	94,7
No. 40	0,425	87
No. 60	0,250	77,2
No. 100	0,150	69,8
No. 140	0,106	66
No. 200	0,075	61,2
Residuo	< 0,075	0



Observaciones: El método de procesamiento de la muestra para el ensayo de granulometría es secado al horno. La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación de la muestra, ubicación y profundidad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ámbitos ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilcica  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS

Código de Informe: SUCS-23-004-I  
Fecha de informe: 2023-09-01

Hoja 03 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Jefferson David Nono Flores  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía

Teléfono: 2976300

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de la Variabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de las subrasantes  
Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

Norma: ASTM C2487

Fecha de ensayo: 2023-07-25

Temperatura de secado (°C): 110

Datos de la muestra	
Identificación	Muestra 2- La Gasca
Ubicación	***
Profundidad (m)	***
Tipo de muestreo	Alévido
Presencia de material orgánico	No
Presencia de estratas	No
Elevaciones de material	Tipo
	Masa (g)
Tamaño máximo de partícula	4,75 mm

Resumen de resultados	
Contenido de humedad (%)	24,9
Límite Líquido (%)	30
Límite Plástico (%)	16
Índice de plasticidad (%)	20
Clasificación SUCS	
CL	Aréls arenas inorgánicas de baja plasticidad

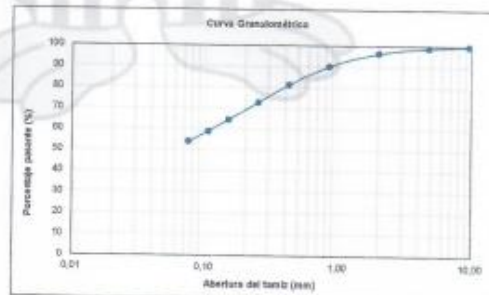
Contenido de humedad ASTM D2216			
La muestra se encuentra homogéneamente mezclada	Si	Método B	
Masa de ensayo menor a masa requerida	No	1	2
Masa alévida (g)		8,893	8,729
Masa alévida y suelo húmedo (g)		115,842	108,737
Masa alévida y suelo seco (g)		94,872	89,707
Contenido de humedad (%)		24,7	25,0

Método de preparación de la muestra para Límite Líquido y Límite Plástico			
	Húmedo	Húmedo	
	Límite Líquido ASTM D 4318	Método Multipunto	Removido plano (plástico)
Número de golpes	25	24	25
Masa alévida (g)	8,888	10,742	8,185
Masa alévida y suelo húmedo (g)	10,592	20,455	15,664
Masa alévida y suelo seco (g)	10,825	17,308	13,787
Contenido de humedad (%)	27,8	29,8	43,3

Límite plástico ASTM D 4318	Enfriado Manual	
	1	2
Masa alévida (g)	8,834	8,406
Masa alévida y suelo húmedo (g)	18,114	18,387
Masa alévida y suelo seco (g)	16,786	17,388
Contenido de humedad (%)	18,9	18,8

Resumen de resultados de Granulometría	
Contenido de grava (%)	1
Contenido de arena (%)	45
Contenido de finos (%)	54
Coefficiente de uniformidad, Cu	***
Coefficiente de curvatura, Cc	***

Granulometría ASTM 6813		
	Tamizado Simple	Método B
Tamaño	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje pasado (%)
3/8 in	9,500	100
No. 4	4,750	99
No. 10	2,000	96,8
No. 20	0,850	90,3
No. 40	0,425	81,4
No. 80	0,250	72,9
No. 150	0,106	64,8
No. 300	0,075	54,1
Bandeja	< 0,075	0



Observaciones: El método de procesamiento de la muestra para el ensayo de granulometría es acorde al horno. La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación de la muestra, ubicación y profundidad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se realizaron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente en la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilacis  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS

Código de informe: SUCS-23-004-I  
Fecha de informe: 2023-09-01

Hoja 04 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Jefferson David Nino Flores  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía

Teléfono: 2976300

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estado de la Variabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de los subrasantes  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*

Norma: ASTM D2487

Fecha de ensayo: 2023-07-25  
Temperatura de secado (°C): 110

Datos de la muestra		
Identificación	Muestra 4 - San Martín	
Ubicación	Taluz	
Profundidad (m)	---	
Tipo de eventos	Aterrado	
Presencia de material orgánico	No	
Presencia de estratos	No	
Exclusiones de material	Tipo	---
	Masa (g)	---
Tamaño máximo de partícula	4,75 mm	

Resumen de resultados	
Contenido de humedad (%)	13,1
Límite Líquido (%)	38
Límite Plástico (%)	21
Índice de plasticidad (%)	18
Clasificación SUCS	
CL	Arcilla arenosa inorgánica de baja plasticidad

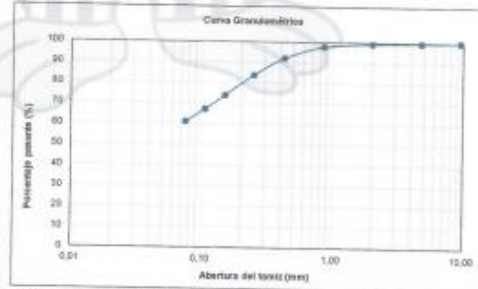
Contenido de humedad ASTM D2234			
La muestra se encuentra herméticamente sellada	SI	Método B	
	No	1	2
Masa cámara (g)		8,818	8,865
Masa cámara y suelo húmedo (g)		122,414	114,119
Masa cámara y suelo seco (g)		109,376	102,028
Contenido de humedad (%)		13,1	13,1

Método de preparación de la muestra para Límite Líquido y Límite Plástico: Húmedo			
Límite Líquido ASTM D 4318	Método Multipunto		Rotámetro (plano plástico)
	Número de golpes		
	31	25	10
Masa cámara (g)	8,570	8,245	8,485
Masa cámara y suelo húmedo (g)	25,083	19,904	20,522
Masa cámara y suelo seco (g)	17,833	16,675	17,385
Contenido de humedad (%)	35,2	35,3	39,6

Límite plástico ASTM D 4318	Echazo Manual	
	1	2
Masa cámara (g)	8,712	10,000
Masa cámara y suelo húmedo (g)	18,918	18,371
Masa cámara y suelo seco (g)	17,271	16,910
Contenido de humedad (%)	21,8	21,1

Resumen de resultados de Granulometría	
Contenido de grava (%)	0
Contenido de arena (%)	39
Contenido de limas (%)	61
Coefficiente de uniformidad, Cu	---
Coefficiente de curvatura, Cc	---

Granulometría ASTM 6913		
Tamizado	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje pasado (%)
Finis	0,075	0
3/8 in	9,500	100
No. 4	4,750	99,7
No. 10	2,000	99,3
No. 20	0,850	97,9
No. 40	0,425	92,3
No. 60	0,250	84
No. 100	0,150	73,9
No. 140	0,106	67,1
No. 200	0,075	41,1
Bandeja	< 0,075	0



Observaciones: El método de procesamiento de la muestra para el ensayo de granulometría se realizó al horno. La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación de la muestra, ubicación y profundidad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los datos ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni pasarse ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilacis  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS

Código de Informe: SUCS-23-005-I  
 Fecha de informe: 2023-09-07

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Jefferson David Neno Flores  
 Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía

Teléfono: 2976300

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de la Variabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de las subrasantes  
 Contratante: \*\*\*  
 Contratista: \*\*\*  
 Fiscalizador: \*\*\*

Norma: ASTM D2487

Fecha de ensayo: 2023-09-04  
 Temperatura de secado (°C): 110

Datos de la muestra		
Identificación	Muestra 5 (Pavimentación)	
Ubicación	***	
Profundidad (m)	***	
Tipo de muestreo	Abrido	
Presencia de material orgánico	No	
Presencia de estratos	No	
Exclusiones de material	Tiempo	***
	Masa (g)	***
Tamaño máximo de partícula	9,50 mm	

Resumen de resultados	
Contenido de humedad (%)	10
Límite Líquido (%)	29
Límite Plástico (%)	15
Índice de plasticidad (%)	14
Clasificación SUCS	
CL	Arcilla arenosa inorgánica de baja plasticidad

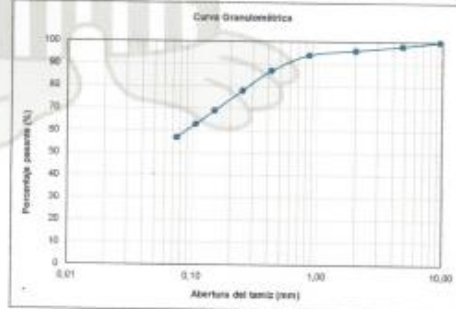
Contenido de humedad ASTM D2278			
La muestra se encontraba homogeneizada antes	Método A		
	Si	No	
Masa del recipiente (g)	10,009	8,673	
Masa del recipiente y suelo húmedo (g)	70,606	67,744	
Masa del recipiente y suelo seco (g)	65,034	62,449	
Contenido de humedad (%)	10	10	

Método de preparación de la muestra para Límite Líquido y Límite Plástico	Humedo	
	Límite Líquido ASTM D 4318	Roturador plano plástico
Número de golpes	32	27
Masa del recipiente (g)	19,058	9,120
Masa del recipiente y suelo húmedo (g)	28,820	16,318
Masa del recipiente y suelo seco (g)	28,537	17,062
Contenido de humedad (%)	26,9	28,8

Límite plástico ASTM D 4318	Controlado Manual	
	1	2
Masa del recipiente (g)	10,084	8,263
Masa del recipiente y suelo húmedo (g)	16,508	12,707
Masa del recipiente y suelo seco (g)	17,380	17,964
Contenido de humedad (%)	10,5	14,8

Resumen de resultados de Granulometría	
Contenido de grava (%)	2
Contenido de arena (%)	41
Contenido de limo (%)	57
Coefficiente de uniformidad, Cu	***
Coefficiente de curvatura, Cc	***

Granulometría ASTM 6913		
Tamizado Simple	Método A	
Tamaño	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje retenido (%)
30 in	9.500	100
No. 4	4.750	99
No. 10	2.000	95
No. 20	0.850	94
No. 40	0.425	87
No. 80	0.250	70
No. 100	0.150	60
No. 140	0.106	63
No. 200	0.075	67
Residuo	< 0.075	0



Observaciones: El método de preparación de la muestra para el ensayo de granulometría es secado al horno.  
 La masa de tamizado es inferior a la requerida por la norma ASTM D6913.  
 La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación de la muestra, ubicación y profundidad, implica su total responsabilidad.  
 Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.  
 El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni pararse ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilacis  
 JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
 Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofc. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

## ANEXO II

# Resultados del ensayo Proctor Estándar entregado por el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### COMPACTACIÓN PROCTOR

Código de informe: CP-23-002-I  
Fecha de informe: 2023-12-08 Hoja 01 de 01

**DATOS DEL CLIENTE**  
Razón social: Jefferson David Nono Flores  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: 2976300

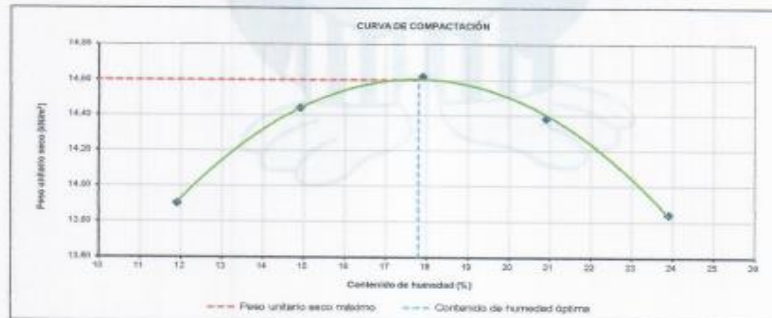
**DATOS DEL PROYECTO**  
Proyecto: Estudio de la Variabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de las subrasantes.  
Contratista: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
Muestra: Muestra 2 - La Angala  
Tipo de compactación: Estándar  
NORMA: ASTM D698

GRANULOMETRÍA					
Tamiz No.	Tamaño Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido acumulado (%)	Porcentaje Pasante (%)
3/4"	19.00	0	0	0	100
3/8"	9.50	0	0	0	100
4	4.75	136	1	1	99
Bandeja	-	19043	99	100	0
Total		19179			

CONDICIONES DE ENSAYO	Método	A	Via de preparación	Fracción gruesa	1 %
	No. De capas	3	Seco	Fracción de ensayo	99 %
	No. De golpes	25	Tipo de martillo	Masa (kg)	2.50
	Volumen molde (cm <sup>3</sup> )	945.0	Manual	Altura de caída (mm)	305

COMPACTACIÓN					
Sub espécimen	1	2	3	4	5
Contenido de humedad (%)	11.9	14.9	17.9	20.9	23.9
Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	1419	1472	1460	1467	1411
Peso unitario seco (kN/m <sup>3</sup> )	13.90	14.44	14.63	14.39	13.94

Peso unitario seco máximo, $P_{max}$	14.60 kN/m <sup>3</sup>
Densidad seca máxima, $P_{max}$	1489 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de humedad óptimo, $w_{opt}$	17.6 %



**OBSERVACIONES:** La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, incluye su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni pararse ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villac  
JEFE DE LABORATORIO



F-T-6-19  
Versión 01

Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec



## ANEXO III

# Resultados del ensayo de densidad de campo con Sonda Nuclear entregado por el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR)



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO EN CAMPO**  
**MÉTODO DENSÍMETRO NUCLEAR**

Código de Informe: DEN-24-001-I  
Fecha de Informe: 2024-02-07

Hoja 01 de 02

**DATOS DEL CLIENTE**

Razón Social: Jefferson David Nono Flores  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: 2976300

**DATOS DEL PROYECTO**

Proyecto: Estudio de la Viabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de las subrasantes

Ubicación: \*\*\*

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

EQUIPO: Troiler 2411-B

NORMA: ASTM D 6938

MÉTODO DE ENSAYO: Método A, Transmisión Directa

No. de Serie: 5216  
Operador: HC

Fecha última calibración: 2023-09-20  
Fecha de ensayo: 2024-01-18

No.	Identificación del punto	Tipo	Profundidad de la prueba (m)	Profundidad de Penetración (m)	Densidad Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)	Densidad Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)
1	1	Subrasante	Superficial	0,15	1966	1306	19,9	1489	87,7

**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación del punto, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los puntos de ensayo identificados. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilacis  
 JEFE DE LABORATORIO





DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO EN CAMPO  
MÉTODO DENSÍMETRO NUCLEAR

Código de Informe: DEN-24-001-I  
Fecha de informe: 2024-02-07

Hoja 02 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Jefferson David Nazo Flores  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: 2976300

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Estudio de la Variabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de las subrasantes

Ubicación: \*\*\*

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Placifcador: \*\*\*

EQUIPO: Truador 2411-B

No. de Serie: 5216

Fecha última calibración: 2023-05-20

NORMA: ASTM D 6938

Operador: HC

Fecha de ensayo: 2024-02-05

MÉTODO DE ENSAYO: Método A. Transmisión Directa

No.	Identificación del punto	Tipo	Profundidad de la prueba (m)	Profundidad de Penetración (m)	Densidad Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)	Densidad Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)
1	1	Subrasante	Superficial	0,15	1448	1298	15,3	1489	84,4
2	2	Subrasante	Superficial	0,15	1440	1246	15,6	1489	83,7
3	3	Subrasante	Superficial	0,15	1526	1313	16,2	1489	88,2
4	4	Subrasante	Superficial	0,15	1501	1296	15,9	1489	87,0
5	5	Subrasante	Superficial	0,15	1729	1384	24,9	1489	92,9
6	6	Subrasante	Superficial	0,15	1721	1376	25,1	1489	92,4

**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación del punto, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los puntos de ensayo identificados. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO EN CAMPO**  
**MÉTODO DENSÍMETRO NUCLEAR**

Código de Informe: DEN-24-002-I  
Fecha de Informe: 2024-02-16

Hoja 01 de 02

**DATOS DEL CLIENTE**

Razón Social: Jefferson David Nono Flores  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: 2976300

**DATOS DEL PROYECTO**

Proyecto: Estudio de la Variabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de las subrasantes

Ubicación: \*\*\*

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

EQUIPO:

Trolier 3411-B

No. de Serie: 5218

Fecha última calibración:

2023-05-20

NORMA:

ASTM D 6938

Operador: HC

Fecha de ensayo:

2023-11-16

MÉTODO DE ENSAYO:

Método A, Transmisión Directa

No.	Identificación del punto	Tipo	Profundidad de la prueba (m)	Profundidad de Penetración (m)	Densidad Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)	Densidad Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)
1	1	Subrasante	Superficial	0,15	1359	1211	12,2	1638	74,0
2	2	Subrasante	Superficial	0,15	1350	1205	12,0	1638	73,7

**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación del punto, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los puntos de ensayo identificados. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Mij Mercedes Vilasis  
JEFE DE LABORATORIO





**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



**DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO EN CAMPO**  
**MÉTODO DENSÍMETRO NUCLEAR**

Código de Informe: DEN-24-002-I  
Fecha de Informe: 2024-02-18

Hoja 02 de 02

**DATOS DEL CLIENTE**

Razón Social: Jefferson David Nava Flores  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía  
Teléfono: 2976300

**DATOS DEL PROYECTO**

Proyecto: Estudio de la Variabilidad de la Densidad Seca y Grado de Compactación de un suelo, con respecto al contenido de humedad de las subrasantes  
Ubicación: ---  
Contratante: ---  
Contratista: ---  
Fiscalizador: ---

EQUIPO: Trovler 3411-B No. de Serie: 5218 Fecha última calibración: 2023-05-30  
NORMA: ASTM D 6938 Operador: HC Fecha de ensayo: 2023-11-21  
MÉTODO DE ENSAYO: Método A, Transmisión Directa

No.	Identificación del punto	Tipo	Profundidad de la prueba (m)	Profundidad de Penetración (m)	Densidad Húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad (%)	Densidad Seca Máxima (kg/m <sup>3</sup> )	Compactación (%)
1	1	Subrasante	Superficial	0,15	1556	1253	24,2	1636	76,6
2	2	Subrasante	Superficial	0,15	1553	1248	24,4	1636	76,3

**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación del punto, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los puntos de ensayo identificados. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización de LEMSUR.

Ing. Mercedes Vilacis  
JEFE DE LABORATORIO

