

Tecnologia, Infraestrutura e Território



# Manual de Práticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos I

*Juan Pablo Rubio Romero*

*Carlson Felipe do Nascimento Niculau*

*Noé Villegas Flores*

Coleção Manuales

Manual de Práticas de Laboratorio de  
Mecánica de Suelos I

Juan Pablo Rubio Romero

Carlson Felipe do Nascimento Niculau

Noé Villegas Flores



**Juan Pablo Rubio Romero**  
**Carlson Felipe do Nascimento Niculau**  
**Noé Villegas Flores**

**Manual de Prácticas de Laboratorio**  
**de Mecánica de Suelos I**



© 2022 EDUNILA – Editora Universitária

Catálogo na Publicação (CIP)

Romero, Juan Pablo Rubio.

R763m Manual de Práticas de Laboratório de Mecânica de Suelos I / Juan Pablo Rubio Romero, Carlson Felipe do Nascimento Niculau, Noé Villegas Flores. Foz do Iguaçu: EDUNILA, 2022.  
PDF (129 p.) : il. Col. Manuales.

ISBN: 978-65-86342-37-6

1. Engenharia. 2. Mecânica dos solos. 3. Prática educativa. I. Romero, Juan Pablo Rubio. II. Niculau, Carlson Felipe do Nascimento. III. Flores, Noé Villegas. IV. Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA. V. Título.

CDU 624.131

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida, arquivada ou transmitida por qualquer meio ou forma sem prévia autorização por escrito da EDUNILA – Editora Universitária.

EDUNILA – Editora Universitária  
Av. Silvio Américo Sasdelli, 1842  
Térreo – Edifício Comercial Lorivo  
Bairro Itaipu A | Foz do Iguaçu/PR  
CEP: 85866-000  
Caixa Postal 2044  
+55 (45) 3522-9832  
+55 (45) 3522-9836  
editora@unila.edu.br  
<https://portal.unila.edu.br/editora>



| <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA</b> |  |
|--|--|
| Gleisson Pereira de Brito                                  | <i>Reitor</i>  |
| Luis Evelio Garcia Acevedo                                 | <i>Vice-reitor</i>   |
| <b>EDUNILA – EDITORA UNIVERSITÁRIA</b>                     |  |
| Antonio Rediver Guizzo                                     | <i>Chefe da EDUNILA</i>  |
| Ailda Santos dos Prazeres                                  | <i>Assistente em administração</i>   |
| Francieli Padilha Bras Costa                               | <i>Programadora visual</i>   |
| Leonel Gandi dos Santos                                    | <i>Bibliotecário-documentalista</i>  |
| Natalia de Almeida Velozo                                  | <i>Revisora de textos</i>  |
| Ricardo Fernando da Silva Ramos                            | <i>Assistente em administração</i>   |
| <b>CONSELHO EDITORIAL</b>                                  |  |
| Antonio Rediver Guizzo                                     | <i>Presidente do Conselho</i>  |
| Natalia de Almeida Velozo                                  | <i>Representante do Órgão Executivo da EDUNILA</i>   |
| Anderson Antonio Andreata                                  | <i>Representante dos técnico-administrativos em educação da UNILA</i>  |
| Diego Moraes Flores  | <i>Representante do Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território (ILATIT – UNILA)</i> |
| Andrea Ciacchi   | <i>Representante do Instituto Latino-Americano de Arte, Cultura e História (ILAACH – UNILA)</i>                |
| Marcela Boroski  | <i>Representante do Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza (ILACVN – UNILA)</i>          |
| Gilson Batista de Oliveira                                 | <i>Representante do Instituto Latino-Americano de Economia, Sociedade e Política (ILAESP – UNILA)</i>          |
| Laura Beatriz Tauro  | <i>Representante da Universidade Nacional de Misiones – UNAM (Argentina)</i>                                   |
| Raquel Quadros Velloso                                     | <i>Representante da PUC – Rio de Janeiro (Brasil)</i>  |
| Alai García Diniz  | <i>Representante da UNIOESTE – Cascavel (Brasil)</i>   |
| Paulínia García Rámirez                                    | <i>Representante da Universidad CES (Colômbia)</i>   |
| Luis Eduardo Aragon Vaca                                   | <i>Representante da UFPA (Brasil)</i>  |
| Joselaine Raquel da Silva Pereira                          | <i>Representante dos discentes de pós-graduação da UNILA</i>   |
| Rafael Alexander Velasco Castillo                          | <i>Representante dos discentes de graduação da UNILA</i>   |
| <b>EQUIPE EDITORIAL</b>                                    |  |
| Natalia de Almeida Velozo                                  | <i>Revisão de textos</i>   |
| Leonel Gandi dos Santos                                    | <i>Normalização bibliográfica</i>  |
| Francieli Padilha Bras Costa                               | <i>Capa, projeto gráfico e diagramação</i>   |
| Diego Chozas   | <i>Supervisão de revisão de textos em espanhol</i>   |

...Cree en ti mismo y en lo que eres. Sé consciente de que hay algo en tu interior que es más grande que cualquier obstáculo...

Manual dedicado a los alumnos de ingeniería civil de infraestructura de la UNILA.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen el apoyo al Instituto de Tecnología, Infraestructura y Territorio por el apoyo para el desarrollo del presente manual de prácticas de laboratorio en su primera edición.

De la misma forma, agradecemos a todos los alumnos del curso de ingeniería civil de infraestructura de la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana por las experiencias y expresión del conocimiento que motivaron plenamente en el desarrollo de este documento.

Finalmente, se expresa un agradecimiento al Laboratorio de materiales LADEM de la UNILA por las facilidades otorgadas para la confección y perfeccionamiento del manual elaborado.

Comúnmente, la construcción de la vida  
Está mucho más en las manos de los hechos,  
que en las de las convicciones.

*Walter Benjamin*

A solid orange triangle is located in the bottom right corner of the page, pointing towards the top right.

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 1</b> – Definición de la sección a ser excavada.....                             | 17  |
| <b>Figura 2</b> – Limpieza y excavación de la sección de suelo.....                        | 18  |
| <b>Figura 3</b> – Recolección de muestra de suelo alterada.....                            | 19  |
| <b>Figura 4</b> – Sección genérica de la muestra de suelo inalterada .....                 | 21  |
| <b>Figura 5</b> – Muestras de suelo en el desecador .....                                  | 29  |
| <b>Figura 6</b> – Pesaje de muestras en balanza de precisión .....                         | 29  |
| <b>Figura 7</b> – Límites de Atterberg.....  | 33  |
| <b>Figura 8</b> – Ranura en la pasta de suelo .....  | 37  |
| <b>Figura 9</b> – Curva de fluidez.....  | 43  |
| <b>Figura 10</b> – Gráfico representativo de distribución granulométrica de un suelo ..... | 57  |
| <b>Figura 11</b> – a. Fijación del molde a la base; b. Caída del pistón .....              | 75  |
| <b>Figura 12</b> – Esquema de fases del suelo .....  | 83  |
| <b>Figura 13</b> – Valores del coeficiente de permeabilidad (k).....                       | 92  |
| <b>Figura 14</b> – Esquema de montaje para la saturación del cuerpo de prueba.....         | 95  |
| <b>Figura 15</b> – Consolidación primaria de un suelo.....                                 | 107 |
| <b>Figura 16</b> – Molde metálico y base perforada .....                                   | 120 |
| <b>Figura 17</b> – Prensa para la determinación del ISC .....                              | 123 |

## LISTA DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 1</b> – Etiqueta de identificación de la muestra .....                   | 19  |
| <b>Tabla 2</b> – Identificación de muestra de suelo inalterado.....               | 21  |
| <b>Tabla 3</b> – Material necesario para el parámetro de humedad del suelo .....  | 28  |
| <b>Tabla 4</b> – Registro de humedades del suelo .....                            | 30  |
| <b>Tabla 5</b> – Registro de resultados – liquidez .....                          | 44  |
| <b>Tabla 6</b> – Registro de resultados – plástico.....                           | 45  |
| <b>Tabla 7</b> – Registro de datos para el tamizado de la fracción gruesa .....   | 58  |
| <b>Tabla 8</b> – Registro de datos para el tamizado de la fracción fina .....     | 58  |
| <b>Tabla 9</b> – La relación de viscosidad del agua ( $n_T/n_{20^\circ C}$ )..... | 101 |
| <b>Tabla 10</b> – Registro de datos del extensómetro .....                        | 125 |
| <b>Tabla 11</b> – Registro de datos para el cálculo de presiones.....             | 126 |
| <b>Tabla 12</b> – Registro para determinación del ISC .....                       | 127 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Gráfico 1</b> – Curva deformación vs Log tiempo ..... | 114 |
|--|-----|

## LISTA DE ECUACIONES

|  |     |
|--|-----|
| (1) Contenido de humedad del suelo .....                       | 26  |
| (2) Límite plástico .....                                      | 39  |
| (3) Índice plástico .....                                      | 40  |
| (4) Contracción lineal .....                                   | 41  |
| (5) Curva de fluidez.....                                      | 43  |
| (6) Límite de liquidez .....                                   | 44  |
| (7) Peso total de la masa seca .....                           | 55  |
| (8) Porcentaje de material que pasa por tamices grandes .....  | 56  |
| (9) Porcentaje de material que pasa por tamices pequeños ..... | 56  |
| (10) Densidad real .....                                       | 62  |
| (11) Densidad de un suelo a temperatura (t).....               | 65  |
| (12) Humedad del suelo.....                                    | 76  |
| (13) Peso específico aparente del suelo húmedo .....           | 77  |
| (14) Peso específico aparente del suelo seco .....             | 78  |
| (15) Volumen de la muestra + parafina .....                    | 85  |
| (16) Volumen de parafina .....                                 | 85  |
| (17) Volumen de la muestra de suelo.....                       | 86  |
| (18) Contenido de agua.....                                    | 86  |
| (19) Peso volumétrico del suelo húmedo .....                   | 86  |
| (20) Peso volumétrico del suelo seco.....                      | 86  |
| (21) Relación de vacíos .....                                  | 87  |
| (22) Peso de sólidos.....                                      | 87  |
| (23) Peso específico relativo de los sólidos.....              | 87  |
| (24) Porosidad .....   | 87  |
| (25) Grado de saturación del agua.....                         | 88  |
| (26) Volumen de agua.....                                      | 88  |
| (27) Coeficiente de permeabilidad (alternativa 1).....         | 91  |
| (28) Coeficiente de permeabilidad (alternativa 2).....         | 91  |
| (29) Coeficiente de permeabilidad (carga variable) .....       | 100 |
| (30) Coeficiente de permeabilidad a 20 °C.....                 | 101 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>(31)</b> Coeficiente de permeabilidad (carga constante) ..... | 102 |
| <b>(32)</b> Contenido de humedad inicial .....                   | 112 |
| <b>(33)</b> Contenido de humedad final .....                     | 112 |
| <b>(34)</b> Altura de los sólidos .....                          | 113 |
| <b>(35)</b> Relación de vacíos inicial .....                     | 113 |
| <b>(36)</b> Relación de vacíos final .....                       | 113 |
| <b>(37)</b> Masa específica aparente seca .....                  | 121 |
| <b>(38)</b> Expansión.....                                       | 122 |
| <b>(39)</b> Índice de Soporte California (CBR) .....             | 124 |

## SUMÁRIO

|   |     |
|---|-----|
| <b>PRÁTICA 1</b> – Muestreo de suelos alterados y no alterados..... | 14  |
| <b>PRÁTICA 2</b> – Contenido de humedad de un suelo.....            | 26  |
| <b>PRÁTICA 3</b> – Límites de consistencia.....                     | 32  |
| <b>PRÁTICA 4</b> – Análisis granulométrico.....                     | 49  |
| <b>PRÁTICA 5</b> – Densidad real de un suelo.....                   | 61  |
| <b>PRÁTICA 6</b> – Ensayo de compactación PROCTOR.....              | 69  |
| <b>PRÁTICA 7</b> – Relaciones gravimétricas y volumétricas.....     | 82  |
| <b>PRÁTICA 8</b> – Permeabilidad de un suelo.....                   | 91  |
| <b>PRÁTICA 9</b> – Consolidación de suelos.....                     | 106 |
| <b>PRÁTICA 10</b> – Índice de Soporte California (CBR).....         | 117 |

*Las normativas citadas en el presente manual están sujetas a revisión y actualización continua, de acuerdo con el avance tecnológico de aceptación internacional, y por tanto, las normas más actuales son las que deben ser consideradas para la ejecución de los ensayos experimentales.*

## PRÁCTICA 1 – Muestreo de suelos alterados e inalterados

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

### Objetivo:

El objetivo principal de la práctica se centra en realizar un pozo a cielo abierto y obtener una porción de suelo con su estructura alterada, con el objetivo de estudiar sus índices físicos en el laboratorio. Se explica el procedimiento para obtener una muestra de suelo no alterada en lo que se refiere a su estructura.

## 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Muestreo de un suelo: El objetivo de un muestreo de suelo es obtener una masa de suelo representativa donde se va a construir. Existen dos tipos de muestreos generales en suelos: muestreos de la masa de suelo alterada e inalterada.

Pozo a cielo abierto: Es un método de excavación de suelos para la extracción de muestras alteradas. Consiste en excavar un pozo profundo (cuadrado o circular) de dimensiones suficientes para examinar la estratigrafía del subsuelo. Este método se utiliza con frecuencia para extraer muestras en suelos cohesivos.

Trinchera: Es un método de excavación de suelos para la extracción de muestras inalteradas. Consiste en excavar una determinada sección con profundidad variable y con dimensiones suficientes para permitir el acceso, con el objetivo de retirar una muestra de suelo representativa e inalterada.

Muestreo alterado: Es aquel muestreo de suelo que está constituido por el material disgregado sin considerar las características originales de su estructura y humedad. El muestreo de suelos alterados suele realizarse con herramientas simples por medio de excavaciones a cielo abierto.

Muestreo inalterado: El muestreo inalterado se refiere a la inspección de un suelo a través de la ejecución de una excavación manteniendo la estructura y humedad del mismo.

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

| <b>Materiales Muestra Alterada</b>  | <b>Cantidades</b> |
|-------------------------------------|-------------------|
| Pico                                | 01                |
| Pala                                | 01                |
| Barreta                             | 01                |
| Cinta métrica                       | 01                |
| Saco de plástico para guardar suelo | 02                |
| Azadón                              | 01                |
| Bandeja metálica                    | 03                |
| Carretilla                          | 01                |
| Etiqueta para identificación        | 01                |
| Piquete de madera                   | 01                |

| <b>Materiales Muestra Inalterada</b> | <b>Cantidades</b> |
|--------------------------------------|-------------------|
| Paleta de albañil                    | 01                |
| Cuchillo de acero                    | 01                |
| Hilo de alambre de acero             | 01                |
| Carretilla                           | 01                |
| Saco plástico y de lona              | 02                |
| Cinta métrica                        | 01                |
| Parafina en cubos                    | 01                |
| Pincel                               | 01                |
| Caja de plástico                     | 01                |

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Respecto a la excavación del pozo (muestras alteradas)

1. Se mide la sección del pozo a ser excavado con la cinta métrica. La sección deberá ser de 1,0 metro de cada lado (sección cuadrada) y de 1,20 de radio en caso de ser sección circular (dimensiones mínimas).
2. Se realiza la limpieza del terreno en un área limitada por un cuadrado de 3,0 x 3,0 metros de lado. Se retira la capa vegetal de por lo menos 20 centímetros en el área del pozo a cielo abierto, como se muestra en la figura 1:

**Figura 1** – Definición de la sección a ser excavada



Fuente: AUTORES (2019).

3. En seguida de realizar la limpieza del terreno, se realiza la excavación del pozo a cielo abierto. La excavación se realiza a una profundidad de 2,0 metros extrayendo el material excavado. El material debe ser depositado en sacos plásticos registrando e identificando su procedencia y método de excavación.

En caso de que se detecte alguna inestabilidad del suelo, se deberán realizar los procedimientos de apuntalamiento adecuados conforme normativa local.

Las operaciones de excavaciones se verán interrumpidas en caso de existir las siguientes circunstancias:

- a. situaciones de riesgo durante la excavación, específicamente inestabilidad del talud;
- b. alcance de la profundidad planeada en la excavación del pozo a cielo abierto;
- c. incremento de agua en el pozo conforme se realizan los trabajos de excavación.

Al final de cada muestreo se deberá cerrar el pozo con material producto de la excavación. En la figura 2 se observa el terreno excavado conforme procedimientos anteriormente citados:

**Figura 2** – Limpieza y excavación de la sección de suelo



Fuente: AUTORES (2019).

4. En seguida de la limpieza del terreno, se recolecta la muestra de suelo (ver figura 3) a cada metro excavado en sacos plásticos (también pueden usarse bandejas). Se colocan dos etiquetas, una interna y otra externa del saco plástico:

**Figura 3** – Recolección de muestra de suelo alterada

Fuente: AUTORES (2019).

No es permitida la extracción de muestras por raspado de las paredes de los taludes del pozo. Los materiales extraídos deberán ser depositados en un lugar ventilado y sin riesgo de humedad.

Para organizar de forma correcta las muestras extraídas, se deberá realizar el registro de cada una de estas por medio de etiquetas conforme la tabla 1:

**Tabla 1** – Etiqueta de identificación de la muestra

|                                |                                      |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Equipo No.                     | Profundidad de la muestra extraída   |
| Nombre del lugar de excavación | Fecha de la extracción de la muestra |
| Número del pozo                | Responsable técnico del laboratorio  |

La cantidad total de muestra de suelo alterado es definida por la cantidad de prácticas a ser realizadas durante el semestre. Con frecuencia se obtiene una masa de suelo de 10 a 15 kg por cada grupo de trabajo.

### 2.2.2 Respecto a la excavación del pozo (muestras inalteradas)

1. Se realiza una trinchera en el suelo de aproximadamente de 1,0 metro de ancho (mínimo) que permita realizar las actividades necesarias para extraer un bloque de suelo inalterado:
  - Iniciar la excavación de la trinchera inmediatamente después de realizar la limpieza del terreno conforme se mencionó anteriormente. De esta forma, el procedimiento debe ser realizado con pala, pico y azadón, hasta alcanzar la profundidad deseada.
  - Las muestras deben ser recolectadas a cada metro de profundidad excavado para casos de materiales homogéneos. En caso de existir diversidad de materiales, se deberá extraer una muestra por cada tipo de material observado.
  
2. Alcanzando la cota final de excavación, se inicia el tallado lateral del bloque de suelo inalterado con las dimensiones previstas. La excavación de la trinchera se debe realizar de forma cuidadosa para evitar vibraciones o rupturas en la estructura de la muestra de suelo inalterada:
  - El bloque de suelo a ser extraído deberá tener un formato de cubo con dimensiones de 0.15 metros (mínimo) y 0.40 metros (máximo), conforme la figura 4.
  - Se debe cuidar los 10 centímetros del bloque (en su parte superior) para realizar la excavación con la herramienta del tallado de las aristas (sierra, alambre de acero, etc.).

**Figura 4** – Sección genérica de la muestra de suelo inalterada



Fuente: AUTORES (2019).

3. Se identifica la parte superior del bloque con la letra S.
4. Se labran las aristas del bloque hasta alcanzar la sección definida en el punto anterior ( $0.15 \leq \text{sección} \leq 0.40$  metros).
5. Para evitar pérdidas de humedad, se envuelven las aristas del bloque con parafina líquida, apoyándose de un pincel y manta.
6. Se coloca la muestra con parafina líquida en una caja de plástico con el objetivo de evitar contacto con agentes externos (humedad, viento, agentes químicos).
7. Se etiqueta el bloque según los criterios de la tabla 2:

**Tabla 2** – Identificación de muestra de suelo inalterado

|                   |  |
|-------------------|--|
| Nombre de la obra | Profundidad de la muestra extraída                   |
| Nombre del lugar  | Orientación de la extracción respecto al norte o sur |
| No. de muestra    | Responsable técnico de laboratorio                   |

8. El bloque es transportado en un lugar que no contenga humedad excesiva o vibraciones que puedan modificar la estructura propia de la masa de suelo.

### **3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS**

Se deberá registrar la siguiente información:

#### **3.1 Registro de campo**

- Nombre de la obra
- Identificación y localización del pozo a cielo abierto o trinchera
- Dimensiones del pozo abierto o de la trinchera
- Fecha de excavación
- Descripción y profundidad de muestras recolectadas
- Medida del nivel de agua (en caso de existir)
- Equipos utilizados en la excavación

#### **3.2 Registro de datos**

- Total de material recolectado
  - Diseño de la planta arquitectónica que permita referenciar el lugar de recolección de la muestra alterada o inalterada
  - Registro fotográfico
  - Conclusiones
  - Referencias bibliográficas consultadas
- 

#### 4 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA

| <b>Brasil</b>                       | <b>Colombia</b>            | <b>Paraguay</b>                    | <b>Perú</b>                            | <b>Chile</b>                           | <b>Ecuador</b>   |
|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|--|--|------------------|
| NBR-9604,<br>NBR-6502,<br>NBR-7250. | NTC-4113-1,<br>NTC-4113-2, | ASTM-<br>D4220,<br>AASTHO-<br>T248 | MTC E-101,<br>MTC E-104,<br>MTC E-105. | NCh-3400/1<br>NCh-3400/2<br>NCh-3400/3 | NTE INEN-<br>688 |

## 5 REFERENCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 248**: Standard Method of Test for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size. West Conshohocken, 2014. 1 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4220**: Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples. West Conshohocken. 2014. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro. 1995. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos – Procedimento. Rio de Janeiro. 1982. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro. 2016. 1 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. **NTC 4113-1**: Gestión ambiental, calidad de suelo, muestreo, guía para el diseño de programas de muestreo. Bogotá. 1997. 1 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. **NTC 4113-2**: Gestión ambiental, calidad de suelo, muestreo, guía sobre técnicas de muestreo. Bogotá. 1997. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. **NCh 3400/1**: Calidad del suelo – Muestreo – Parte 1: Directrices para el diseño de los programas de Muestreo. Santiago, 2016. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. **NCh 3400/1**: Calidad del suelo – Muestreo – Parte 2: Directrices sobre Técnicas de Muestreo. Santiago, 2016. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. **NCh 3400/1**: Calidad del suelo – Muestreo – Parte 3: Orientación de Seguridad. Santiago, 2017. 1 p.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. **NTE INEN 688**: Preparación de muestras alteradas para ensayos. Quito, 1982. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-101**: Guía para muestreo de suelos y rocas. Lima, 2000. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-104**: Conservación y transporte de muestras de suelos. Lima, 2000. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-105**: Obtención en laboratorio de muestras representativas (Cuarteo). Lima, 2000. 1 p.

## PRÁCTICA 2 – Contenido de humedad de un suelo

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

### Objetivo:

El objetivo de la práctica es determinar la cantidad de agua que posee una muestra de suelo con respecto a su peso seco.

## 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Esta propiedad física del suelo es de gran utilidad en la construcción civil y de infraestructura, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos (entre otros) en la construcción están gobernados por la cantidad de agua que contienen.

El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que guarda, esto se expresa en términos de porcentaje. Se define mediante la siguiente fórmula:

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \quad (1)$$

Donde:

$h$  = Contenido de humedad en porcentaje

$M_1$  = Masa del suelo húmedo + masa de la cápsula en gramos

$M_2$  = Masa del suelo seco + masa de la cápsula en gramos

$M_3$  = Masa de la cápsula en gramos

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

| <b>Materiales</b>   | <b>Cantidades</b> |
|---|-------------------|
| Horno eléctrico con temperatura controlada<br>105 °C a 110 °C | 01                |
| Balanza con aproximación de 0.01 g                            | 01                |
| Bandeja metálica  | 01                |
| Cápsula de aluminio con tapa                                  | 03                |
| Espátula  | 01                |
| Secador con silicio en gel (con sílica)                       | 01                |
| Pinza metálicas de 30 cm de extensión                         | 01                |

## 2.2 Metodología

1. Pesar 3 cápsulas de aluminio con tapa, identificando el número de muestra de suelo. Se registran los pesos de cada una de las cápsulas en gramos. Este valor será registrado como masa M3.
2. Tomar una muestra de suelo excavado (alterado) en su estado natural, registrándolo como M1 (en gramos).
3. La cantidad de material para la caracterización de humedad de un suelo será obtenida en función de la dimensión de los granos contenidos en la muestra. La tabla 3 refleja la cantidad específica para tal restricción:

**Tabla 3** – Material necesario para el parámetro de humedad del suelo

| Dimensión de los granos mayores contenidos en la muestra de suelo (determinada visualmente, en mm) | Cantidad de material (en masa seca a tomar) (gramos) | Tipo de balanza            |                    |
|--|--|----------------------------|--------------------|
|  |  | Capacidad nominal (gramos) | Precisión (gramos) |
| < 2  | 30   | 200                        | 0.01               |
| 2 a 20   | 30 a 300   | 1500                       | 0.1                |
| 20 a 76  | 300 a 3000   | 5000                       | 0.5                |

4. Colocar la cápsula con el suelo en la estufa durante 24 horas (temperatura entre 105 °C a 110 °C). La cápsula debe permanecer sin tapa mientras se encuentre en el horno. Los suelos orgánicos se deben secar en horno a temperatura de 60-65 °C.
5. Retirar la cápsula del horno y dejar enfriar (usar secador con sílica conforme figura 5) a temperatura ambiente:

**Figura 5** – Muestras de suelo en el desecador



Fuente: AUTORES (2019).

6. Colocar la tapa en la cápsula, pesando y registrando como M2. Realizar al menos 3 muestras de suelo, conforme figura 6:

**Figura 6** – Pesaje de muestras en balanza de precisión



Fuente: AUTORES (2019).

7. Calcular el contenido de humedad para la masa de suelo, conforme la ecuación 1.

### 3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS

En la tabla 4 se debe registrar los datos obtenidos, así como también se refleja el cálculo de las distintas humedades del suelo estudiado:

**Tabla 4** – Registro de humedades del suelo

| <b>No. de cápsula</b> | <b>Peso de la cápsula (g)</b> | <b>Peso de la cápsula + suelo húmedo (g)</b> | <b>Peso de la cápsula + suelo seco (g)</b> | <b>Contenido de humedad calculada (%)</b> |
|-----------------------|-------------------------------|--|--|---|
|                       |                               |  |  |   |
|                       |                               |  |  |   |
|                       |                               |  |  |   |
|                       |                               |  |  |   |

Para el cálculo de humedad del suelo estudiado, se determina el promedio de los valores de todas las muestras.

### 4 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA

| <b>Brasil</b> | <b>Colombia</b> | <b>Paraguay</b> | <b>Perú</b> | <b>Chile</b> | <b>Ecuador</b> |
|---------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|----------------|
| NBR-6457      | NTC-1495-13     | ASTM-D2216      | MTC E-108   | NCh-1515     | NTE INEN-0690  |

## 5 REFERENCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2216**: Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. West Conshohocken. 2014. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Anexo – Determinação de teor de umidade de solo. Rio de Janeiro. 2016. 1 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. **NTC 1495-13**: Método de Ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas, con base en la masa. Bogotá. 2013. 1 p.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. **NTE INEN 0690**: Determinación del contenido de agua. Método del secado al horno. Quito, 1982. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMATIZACIÓN. **NCh-1515**: Determinación de la humedad en el terreno. Santiago, 2016. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-108**: Determinación del contenido de Humedad de un suelo. Lima, 2000. 1 p.

## PRÁCTICA 3 – Límites de consistencia

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

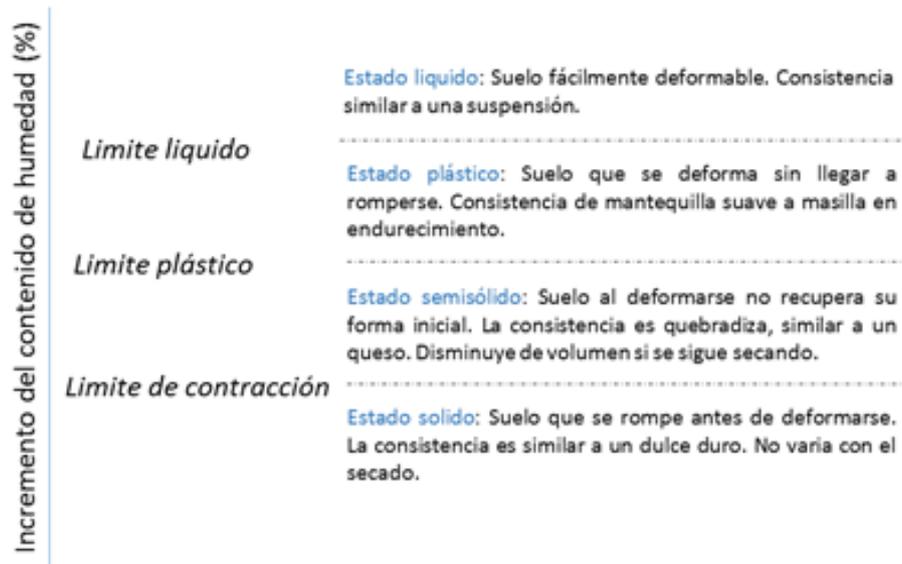
### Objetivo:

El objetivo de la práctica es determinar los límites de Atterberg: líquido – plástico y contracción lineal por el Método P.R.A (Public Road Administration). Los límites líquido y plástico se emplean para clasificar un suelo en función de su plasticidad.

## 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Plasticidad: Es la propiedad que presentan los suelos para poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. El conocimiento de esta propiedad es de gran importancia ya que a través de esta se mide el comportamiento de un suelo en cualquier fase. Para conocer la plasticidad de un suelo se utilizan los “límites de Atterberg”, quien considera cuatro (4) estados de consistencia de los suelos coherentes (ver figura 7):

**Figura 7 – Límites de Atterberg**



Fuente: AUTORES (2019).

A través del límite líquido (L.L.), plástico (L.P.) y de contracción (L.C.) se puede dar una idea general del tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan utilizando el suelo que pasa por la malla No. 40. La diferencia entre los valores del límite líquido (L.L.) y plástico (L.P.) da el llamado índice plástico (I.P.) del suelo.

Los límites líquido y plástico dependen de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, sin embargo, el índice plástico (I.P.) depende con frecuencia de la cantidad de arcilla. Así, el índice plástico indica el rango de humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de un material plástico.

Según Arthur Casagrande, comparando suelos de igual límite líquido con índice de plasticidad que aumenta, la compresibilidad es la misma, la constante de permeabilidad disminuye, la tenacidad cerca del límite plástico aumenta y también aumenta la resistencia en seco.

Ahora, comparando suelos de igual índice plástico con límite líquido que aumenta, la compresibilidad aumenta, la constante de permeabilidad aumenta, y tanto la tenacidad cerca del límite plástico como la resistencia en seco disminuyen.

Límite líquido: Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con la cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De acuerdo a esta definición, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, definida por Atterberg como  $25 \text{ g/cm}^2$ . La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula.

Límite plástico: Se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Límite de contracción: Es la denominación que recibe arbitrariamente el material que se encuentra entre el estado semisólido y sólido, quedando definido su valor con el contenido de humedad que tiene el suelo, en el cual tras su secado posterior ya no provoca reducción de su volumen. En otras palabras, el límite de contracción es un contenido de humedad específico que divide la consistencia sólida de la semisólida del suelo y establece el contenido de humedad máximo que el suelo tolera antes de sufrir cambios en su volumen.

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

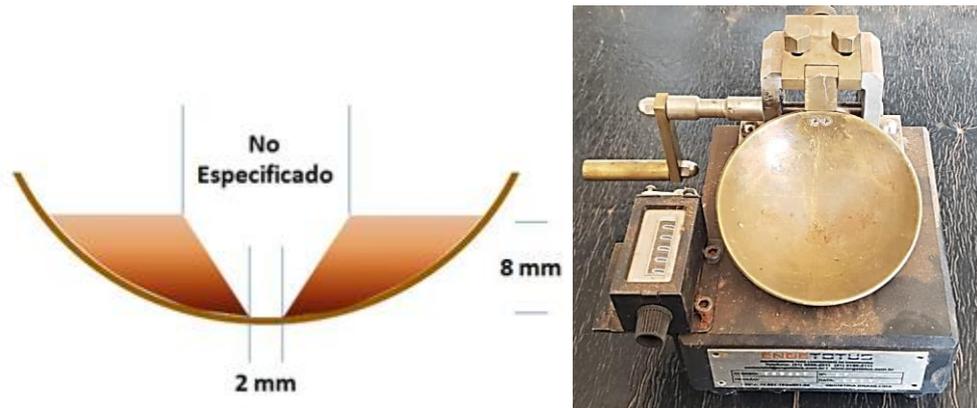
| <b>Materiales</b>                                  | <b>Cantidades</b> |
|--|-------------------|
| Copa CASAGRANDE                                    | 01                |
| Ranurador laminar y curvo                          | 01                |
| Espátula   | 01                |
| Malla No. 40                                       | 01                |
| Cápsula de porcelana                               | 01                |
| Pinza de acero                                     | 01                |
| Guantes  | 01                |
| Ranurador  | 01                |
| Cronómetro   | 01                |
| Horno con temperatura constante de 105 °C          | 01                |
| Balanza con aproximación de 0.01 g                 | 01                |
| Calibrador con vernier                             | 01                |
| Placa de vidrio                                    | 01                |
| Franela  | 01                |
| Recipiente de acero inoxidable                     | 01                |
| Recipiente contracción lineal<br>12 x 1.5 x 1.5 cm | 01                |
| Agua   | Cantidad adecuada |

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Procedimiento límite líquido

1. Se toman 100 g de material que pasa por la malla No. 40 y se coloca en la cápsula de porcelana y con una espátula se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave agregando una pequeña cantidad de agua (15 a 20 ml) durante el mezclado.
2. Se coloca un poco de mezcla en la copa CASAGRANDE, formando una “torta” alisada con espesor de 1 cm. En la parte de máxima profundidad (Una altura mayor a 1 cm. disminuye el valor del límite líquido (L.L.) y una altura menor aumenta dicho valor).
3. El suelo colocado en la copa CASAGRANDE se divide en la parte media en dos porciones, utilizando el ranurador (ver figura 8). El ranurador debe mantener su dirección y velocidad constante y con movimiento de arriba hacia abajo. En el caso de suelos arenosos se debe emplear el ranurador laminar en lugar del trapecial, debido a que este último no rebana el suelo, sino que lo desplaza, lo que provoca que se rompa la adherencia entre el suelo y la copa, dando resultados incorrectos.

**Figura 8** – Ranura en la pasta de suelo



Fuente: INV E 125 (2013).

4. En los suelos arenosos la profundidad del surco debe incrementarse en cada paso del ranurador laminar y, solamente en la última pasada debe rasparse el fondo de la copa. En casos, que no sea posible hacer la ranura con el ranurador laminar, es necesario hacer la ranura con una espátula y comprobar las dimensiones con el ranurador.
5. Con la ranura ya realizada, se acciona la copa a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura hecha se cierre a 1.27 cm (1/2"). Si la ranura no se cierra a 1.27 cm. entre los golpes 6 y 35. Se recoge el material de la copa y se añade agua y se vuelve a mezclar (o se seca la muestra hasta que alcance una consistencia dentro de ese intervalo (6-35 golpes).
6. Cuando se ha obtenido un valor consistente del número de golpes (comprendido entre 6 y 35), se toman 10 g aproximadamente de suelo de la zona más próxima a la ranura cerrada y se determina el contenido de agua de inmediato.

7. Se repite el ensayo y, si se obtiene el mismo número de golpes que en el ensayo anterior, se anotan ambos datos en la hoja de registro. Si existe diferencia de más de un golpe se repite el ensayo hasta que tres (3) ensayos consecutivos den una conveniente serie de números, por ejemplo: 10-12-10 o 30-28-30.
8. Se repiten los pasos 2) a 5), con el mismo suelo pero con contenidos de humedad diferentes. Para humedecer el suelo se puede emplear un gotero, remodelando la mezcla hasta que el agua añadida quede perfectamente incorporada a la pasta de suelo. Para secar el suelo se debe usar la espátula remezclando para producir evaporación. En ningún caso se deberá añadir suelo seco a la mezcla o a través de un proceso de evaporación violenta.
9. Así, se deberá tener, por lo menos, dos o tres grupos de contenido de humedad (uno entre los 25 y 35 golpes y otro entre los 6 y 20 golpes) con el fin de que la curva de fluidez no se salga del intervalo en que pueda considerarse recta (según lo indica CASAGRANDE).

**¡IMPORTANTE!**

**Una vez entre 30 y 40 golpes**

**Una vez entre 20 y 30 golpes**

**Una vez entre 10 y 20 golpes**

**Una vez entre 4 y 10 golpes**

10. Se unen los dos o tres puntos marcados para el intervalo entre 6 y 20 golpes con una línea recta, señalando el punto medio. Se repite para los dos o tres puntos del intervalo de 25 a 35 golpes.
11. Se conectan los dos puntos medios con la línea recta, lo que se denomina “curva de fluidez”. El contenido de humedad indicado por la intersección de esta línea con la de los 25 golpes es el límite líquido del suelo.

### 2.2.2 Procedimiento límite plástico

1. Para determinar el límite plástico, se utiliza, generalmente, el material restante de la prueba del límite líquido. Se mezcla de tal forma que pierda por evaporación humedad y que sea perfectamente moldeable.
2. Se forma una pequeña esfera (bola) que deberá moldearse enseguida con la palma de la mano (o en una placa de vidrio) aplicando suficiente presión para formar pequeños filamentos.
3. Se forma un filamento de 3.17 mm (1/8"). Cuando este filamento no se rompa deberá juntarse con la muestra de nuevo, mezclarse hasta que se produzca un rompimiento del filamento al momento de alcanzar 1/8". Los suelos que no puedan moldearse con ningún contenido de humedad se consideran como suelos no plásticos.
4. Cuando al moldear la esfera de suelo se rompa al diámetro de 1/8", se toman todos los pedacitos y se pesan en la báscula con aproximación a 0.10 g.
5. Se seca el suelo en un horno y se determina la humedad correspondiente al límite plástico como sigue en la expresión:

$$L. P. = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100 = \frac{P_w}{P_s * 100} \quad (2)$$

$$L. P. = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100 = \frac{P_w}{P_s * 100}$$

Donde:

$L.P.$  = Humedad correspondiente al límite plástico en %

$P_h$  = Peso de los pedazos de filamentos húmedos en gramos

$P_s$  = Peso de los pedazos de filamentos secos en gramos

$P_w$  = Peso del agua contenida en los filamentos pesados en gramos

El límite plástico es muy afectado por el contenido orgánico del suelo, ya que eleva su valor sin aumentar simultáneamente el límite líquido. Por tal razón, los suelos con contenido orgánico tienen bajo índice plástico y límites líquidos altos. Para calcular el índice plástico se sigue la siguiente ecuación:

$$L_p = L.L. - L.P. \quad (3)$$

Donde:

$L_p$  = Índice plástico

$L.L.$  = Límite líquido o de liquidez

$L.P.$  = Límite plástico

### 2.2.3 Procedimiento contracción lineal

1. Se utiliza el molde definido para contracción lineal. Se coloca una capa de lubricante en toda su superficie.
2. Se coloca en el recipiente suelo previamente saturado con agua (cercano el límite líquido), evitando dejar huecos u oquedades dentro del recipiente. Se mide la longitud total del recipiente que contiene el material.
3. Se deja el material secar por 2 días a la intemperie, para obtener una reducción gradual de humedad.
4. Enseguida se lleva el material a secar al horno por 24 horas.
5. Se mide la longitud final de la muestra con un vernier, sin sacarla del recipiente, evitando que se fracture.

Para calcular la contracción lineal, sigue la ecuación:

$$CL = \frac{L.I. - L.F.}{L.I.} * 100 \quad (4)$$

Donde:

$CL$  = Contracción lineal

$L.I.$  = Longitud inicial con suelo húmedo (cm)

$L.F.$  = Longitud final con suelo seco (cm)

**¡Importante!**

Ocurrirá generalmente que la barra de suelo seca se combe o pandee dadas las contracciones desiguales, haciéndose necesario tomar un promedio de las longitudes de ambas caras, inferior y superior, de la barra.

### 3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS

1. Construir la curva de fluidez en el siguiente esquema de la figura 9. La ecuación que rige la curva de fluidez es la siguiente:

$$w = l_f * \log N + C \quad (5)$$

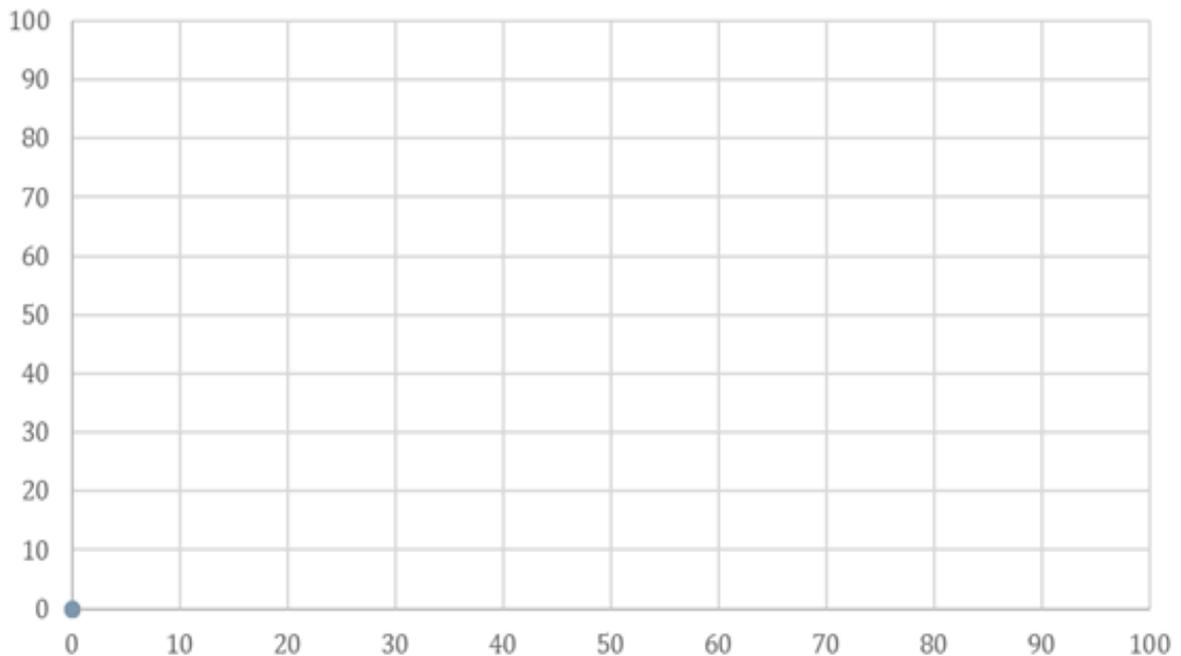
Donde:

$w$  = Porcentaje en peso de humedad

$l_f$  = Índice de fluencia (pendiente de la curva de flujo) igual a la variación de contenido de agua correspondiente a un ciclo de escala logarítmica, es decir, igual a la diferencia de los contenidos de humedad

$N$  = Número de golpes de Casagrande

**Figura 9** – Curva de fluidez



2. Seguidamente registrar los datos para determinar el límite líquido (ver tabla 5) y calcular el límite de liquidez por medio de la ecuación 6:

**Tabla 5** – Registro de resultados – liquidez

| <b>Datos para determinar el límite líquido</b> |                   |   |   |   |
|--|-------------------|---|---|---|
| Equipo:  | Fecha del ensayo: |   |   |   |
| Origen de la muestra:                          |                   |   |   |   |
| Recipiente No.                                 | 1                 | 2 | 3 | 4 |
| No. de golpes                                  |                   |   |   |   |
| (L1) – Muestra húmeda + recipiente (g)         |                   |   |   |   |
| (L2) – Muestra seca + recipiente (g)           |                   |   |   |   |
| Peso del agua (g)                              |                   |   |   |   |
| Cálculo de (L1 – L2)                           |                   |   |   |   |
| (L4) - Peso del recipiente (g)                 |                   |   |   |   |
| (L2 – L4) Peso de la muestra seca (g)          |                   |   |   |   |
| Porcentaje de humedad (%)                      |                   |   |   |   |

$$L.L. = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100 \quad (6)$$

$L.P.$  = Límite líquido

$P_h$  = Peso de la muestra húmeda en gramos

$P_s$  = Peso de la muestra seca en gramos

3. Registrar los datos para calcular el límite plástico (tabla 6), y consecuentemente calcular el límite plástico por medio de la ecuación 2.

**Tabla 6** – Registro de resultados – plástico

| <b>Datos para determinar el límite plástico</b> |                   |   |   |   |
|---|-------------------|---|---|---|
| Equipo:   | Fecha del ensayo: |   |   |   |
| Origen de la muestra:                           |                   |   |   |   |
| Recipiente No.                                  | 1                 | 2 | 3 | 4 |
| No. de golpes                                   |                   |   |   |   |
| (L1) – Muestra húmeda + recipiente (g)          |                   |   |   |   |
| (L2) – Muestra seca + recipiente (g)            |                   |   |   |   |
| Peso del agua (g)                               |                   |   |   |   |
| Cálculo de (L1 – L2)                            |                   |   |   |   |
| (L4) Peso del recipiente (g)                    |                   |   |   |   |
| (L2 – L4) Peso de la muestra seca (g)           |                   |   |   |   |
| Porcentaje de humedad (%)                       |                   |   |   |   |

4. Calcular el índice plástico por medio de la ecuación 3.
5. Calcular la contracción lineal por medio de la ecuación 4.

#### 4 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA

| <b>Brasil</b> | <b>Colombia</b> | <b>Paraguay</b> | <b>Perú</b> | <b>Chile</b> | <b>Ecuador</b> |
|---------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|----------------|
| NBR 6459      | NTC 4630-99     | ASTM-D4318      | MTC E-110   | NCh1517/1    | NTE INEN-691   |
| NBR 7180      | INV E-125       | AASHTO-T89      | MTC E-111   | NCh1517/2    | NTE INEN-692   |
| ASTM-D4318    | INV E-126       | AASHTO-T90      |             |              |                |

## 5 REFERENCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 89**: Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils. West Conshohocken, 2013. 1 p.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 90**: Standard Method of Test for Determining the Plastic and Plasticity Index of Soils. West Conshohocken, 2020. 1 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4318**: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. West Conshohocken. 2007. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. 2016. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. 2016. 1 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. **NTC 4630-99**: Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos. Bogotá. 1999. 1 p.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. **NTE INEN 691**: Determinación del límite líquido. Método de casa grande. Quito, 1982. 1 p.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. **NTE INEN 692**: Determinación del límite plástico. Quito, 1982. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMATIZACIÓN. **NCh 1517/1**: Límites de consistencia – parte 1 – Determinación del límite líquido. Santiago, 1979. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMATIZACIÓN. **NCh 1517/2**: Límites de consistencia – parte 2 – Determinación del límite plástico e índice de plasticidad. Santiago, 1979. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. **INV E-125**: Determinación del límite líquido de los suelos. Bogotá. 2013, 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. **INV E-126**: Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. Bogotá. 2013, 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E 110**: Determinación del límite líquido de los suelos. Lima, 2000. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E 111**: Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.). Lima, 2000. 1 p.

## PRÁCTICA 4 – Análisis granulométrico

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

### Objetivo:

El objetivo de la práctica es separar por tamaños las partículas de suelos gruesos y finos que componen la muestra de suelo en estudio y, así, clasificar el suelo de acuerdo a su graduación (ejemplo: grava bien graduada (GW); arena mal graduada (SP), etc.).

## 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Todos los suelos en su fase sólida contienen partículas de diferentes tamaños. La determinación del tamaño de las partículas y sus porcentajes permiten obtener su distribución en la masa del suelo, lo cual es denominado distribución granulométrica.

La distribución granulométrica de los materiales granulares, arenas y gravas es obtenida a través del proceso de tamizado (para una muestra secada en horno) y para limos y arcillas se emplea el proceso de sedimentación de sólidos en un medio líquido. Para suelos que contienen partículas tanto de la fracción gruesa como de la fracción fina, es necesario realizar el análisis granulométrico en conjunto.

Se designa como ensayo granulométrico a la determinación de la distribución de las partículas de un suelo respecto a su tamaño.

Al realizar un análisis granulométrico en suelos gruesos, se tienen las siguientes aplicaciones:

- a. clasificar los suelos de acuerdo a su graduación;
- b. analizar el material más adecuado para la construcción de pavimentos;
- c. calcular el coeficiente de permeabilidad de forma aproximada.

Para suelos finos:

- a. Es conveniente obtener el porcentaje de partículas menores de 0.002 mm, para definir el porcentaje de limo y arcilla que contiene un suelo y así, definir la actividad de ese suelo.

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

| <b>Materiales</b>  | <b>Cantidades</b>  |
|--|--|
| Juego de tamices (mallas)                                      | Normalmente se utilizan: 3", 2", 1", ¾", ½", 3/8", No. 4, No. 10, No. 20, No. 40, No. 60, No. 100, No. 200 y el recipiente final |
| Cucharón   | 01   |
| Balanza con aproximación de 0.10 g                             | 01   |
| Bandeja rectangular 40 x 60 cm                                 | 02   |
| Espátula y vidrio de reloj                                     | 01   |
| Repartidor de muestras o cuarteador                            | 01   |
| Malla No. 200 para el lavado del suelo que pasó la malla No. 4 | 01   |
| Alambre de 5 mm de diámetro con punta redondeada               | 01   |
| Horno/estufa   | 01   |
| Bandeja de aluminio  | 01   |
| Vaso de aluminio   | 01   |
| Agua   | Cantidad adecuada  |

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Preparación de la muestra

1. Después de recibir la muestra en el laboratorio, se seca una cantidad determinada de suelo al aire. Se deshacen y rompen posibles terrones contenidos en la muestra, hasta homogeneizarse adecuadamente.
2. Para que el material ensayado sea representativo, se debe realizar el procedimiento de cuarteo (manualmente o por cuarteador). Se obtiene una muestra de suelo con el peso necesario para efectuar los ensayos.
3. Se selecciona una cantidad representativa (S1) de material seco al aire y se determina su humedad:
  - 10 kg, si el suelo es grava gruesa
  - 2 kg, si el suelo es grava fina
  - 1 kg, si el suelo es material arenoso
  - 0.5 kg, si el suelo es material limo/arcilloso
4. Se pesa la muestra de suelo seco al aire (S1) y se tamiza el material por la malla No. 10 (2 mm).
5. Del material que pasa por el tamiz se separan tres (3) cantidades:
  - S2 = 20 g para determinar el peso específico real de las partículas de suelo
  - S3 = 50 a 100 g para sedimentación
  - S4 = 200 a 600 g para el proceso de tamizado de finos

### 2.2.2 Etapa experimental

El procedimiento experimental para el ensayo de granulometría se divide en tres partes y son:

- Tamizado grueso
- Tamizado fino
- Ensayo de sedimentación

Tamizado grueso: El tamizado grueso se lleva a cabo utilizando la cantidad de suelo que se retiene en el tamiz No. 10 (2 mm) en el momento de la preparación de la muestra y se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se lava el material por el tamiz No. 10. Enseguida, se coloca a secar en el horno por 24 h.
2. Los tamices de aberturas mayores e igual a No. 10 son colocados un sobre otro (con abertura de mayor a menor). Se coloca al final de los tamices un plato que recoge el material que pasará por todos los tamices. En la parte superior se coloca una tapa con la finalidad de evitar la pérdida de material durante el proceso de vibración de los tamices. El conjunto de tamices puede ser vibrado de forma manual o con vibrador mecánico.
3. Se pesa la fracción de suelo retenida en cada tamiz, hasta llegar a No. 10 (2 mm).

Tamizado fino: El tamizado fino es realizado con 120 g de suelo que pasa por el tamiz No. 10 (2 mm) y se lleva a cabo con el siguiente procedimiento:

1. Se coloca material en el tamiz No. 200 (0.075 mm) y se lava.
2. El material retenido en el tamiz No. 200 (0.075 mm) se coloca en un recipiente para dejarlo secando en el horno por 24 horas.
3. Se colocan de forma vertical los tamices con aberturas comprendidas entre el No. 10 (2 mm) y el No. 200 (0.075 mm).
4. Se coloca el material seco en el conjunto de tamices y se realiza el proceso de tamizado (se puede realizar de forma manual o mecánico).
5. Se pesa la fracción de suelo retenida en cada tamiz.

Sedimentación: Para realizar el ensayo de sedimentación, se utiliza una muestra de suelo de peso entre 50 g y 100 g. El ensayo de sedimentación sigue los pasos:

1. Se coloca una muestra de suelo en inmersión por 6 a 24 horas en una solución de hexametáfosfato de sodio.
2. Se agita la mezcla en el dispersor eléctrico entre 5 y 15 minutos.
3. Se transfiere la mezcla para una probeta graduada, completando con agua destilada hasta 1000 ml y se agita la mezcla de suelo + agua.
4. Se realizan las lecturas de densímetro en los instantes de: 30 s, 1 min, 2, 4, 8, 15, 30, 1, 2, 4, 8, 24 horas.

Para obtener el peso total de la masa seca (excepto sedimentación) se utiliza la siguiente ecuación:

$$M_s = \frac{M_t - M_g}{100 + h} * 100 + M_g \quad (7)$$

Donde:

$M_s$  = Masa total de la muestra seca

$M_t$  = Masa total de la muestra seca al aire

$M_g$  = Masa del material seco retenido en el tamiz No. 10 (2 mm)

$h$  = Humedad higroscópica del material que pasó en el tamiz No. 10 (2 mm)

Para obtener el porcentaje de material que pasa por los tamices 50, 38, 25, 19, 9.5, 4.8, 2.38 y 2 mm, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_g = \frac{M_s - M_i}{M_s} * 100 \quad (8)$$

Donde:

$Q_g$  = Porcentaje de material que pasa en cada tamiz

$M_s$  = Peso total de la muestra seca

$M_i$  = Peso del material retenido acumulado en cada tamiz

Para obtener el porcentaje de material que pasa por los tamices 1,2, 0.60, 0.42, 0.29, 0.15 y 0.075 mm, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_f = \frac{M_h * 100 - M_i(100 + h)}{M_h * 100} * N \quad (9)$$

Donde:

$Q_f$  = Porcentaje de material que pasa en cada tamiz

$M_h$  = Peso del material húmedo sometido al tamizado fino

$M_i$  = Peso del material retenido acumulado en cada tamiz

$h$  = Humedad higroscópica del material que pasa el tamiz No. 10 (2 mm)

$N$  = Porcentaje del material que pasa el tamiz No. 10 (2 mm)

### 3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS

1. Calcular el peso total de la masa seca utilizando la ecuación 7.
2. Calcular el porcentaje de material que pasa en los tamices 50, 38, 25, 19, 9.5, 4.8, 2.38 y 2 mm, utilizando la ecuación 8.
3. Calcular el porcentaje de material que pasa por los tamices 1,2, 0.60, 0.42, 0.29, 0.15 y 0.075 mm, utilizando la ecuación 9.
4. Construir a partir de los valores calculados, la curva de distribución granulométrica (ver figura 10), marcando en el eje de las abscisas (en escala logarítmica) los diámetros de las partículas y, en el eje de las ordenadas (en escala natural) los porcentajes de suelo que pasa en cada tamiz:

**Figura 10** – Gráfico representativo de distribución granulométrica de un suelo



Fuente: AUTORES (2019).

5. Registre los datos obtenidos del proceso en la planilla de la tabla 7 y tabla 8 de tamizado para el ensayo de granulometría de un tipo de suelo dado:

**Tabla 7** – Registro de datos para el tamizado de la fracción gruesa

| <b>Tamizado de la fracción gruesa</b> |               |                   |                   |                                |
|---------------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|
| Tamices                               |               | Peso retenido (g) | Peso que pasa (g) | % que pasa de la muestra total |
| No.                                   | Abertura (mm) |                   |                   |                                |
| 2"                                    |               |                   |                   |                                |
| 1 1/2"                                |               |                   |                   |                                |
| 1"                                    |               |                   |                   |                                |
| 3/4"                                  |               |                   |                   |                                |
| 3/8"                                  |               |                   |                   |                                |
| 4                                     |               |                   |                   |                                |
| 10                                    |               |                   |                   |                                |

**Tabla 8** – Registro de datos para el tamizado de la fracción fina

| <b>Tamizado para fracción fina</b> |               |                   |                   |            |                           |                 |  |
|------------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|------------|---------------------------|-----------------|--|
| Tamices                            |               | Muestra parcial   |                   |            | % que pasa del peso total | Muestra parcial |  |
| No.                                | Abertura (mm) | Peso retenido (g) | Peso que pasa (g) | % que pasa |                           | Humedad (g)     |  |
| 16                                 | 1,20          |                   |                   |            |                           |                 |  |
| 30                                 | 0,60          |                   |                   |            |                           |                 |  |
| 40                                 | 0,42          |                   |                   |            | Seca (g)                  |                 |  |
| 60                                 | 0,30          |                   |                   |            |                           |                 |  |
| 100                                | 0,15          |                   |                   |            |                           |                 |  |
| 200                                | 0,074         |                   |                   |            |                           |                 |  |

**4 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA**

| <b>Brasil</b> | <b>Colombia</b>          | <b>Paraguay</b>           | <b>Perú</b> | <b>Chile</b> | <b>Ecuador</b> |
|---------------|--------------------------|---------------------------|-------------|--------------|----------------|
| NBR-7181      | NTC 1522-99<br>INV E-123 | ASTM- D422<br>AASHTO- T88 | MTC E-107   | LNV-105      | NTE INEN-696   |

## 5 REFERENCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 88**: Standard Test Method for Particle – Size Analysis of Soils. West Conshohocken, 2014. 1 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D422**: Standard Test Method for Particle – Size Analysis of Soils. West Conshohocken. 1972. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 2016. 1 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. **NTC 1522-99**: Ensayo para determinar la granulometría por tamizado. Bogotá. 1999. 1 p.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. **NTE INEN-696**: Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Quito, 2011. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE INVIAS. **INV E-123**: Determinación de los tamaños de partículas de los suelos. Bogotá. 2013. 1 p.

LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD. **LNV 105**: Método para determinar la granulometría. Santiago, 2016. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-107**: Análisis granulométrico de suelos por tamizado. Lima, 2000. 1 p.

## PRÁCTICA 5 – Densidad de un suelo

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

### Objetivo:

El objetivo de la práctica es determinar el peso específico real o densidad de un suelo fino o grueso sin considerar los huecos o vacíos propios del mismo.

## 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La densidad de sólidos se define como la relación que existe entre el peso de los sólidos y el peso del volumen del agua desalojado por los mismos. En ese sentido, el peso específico de los granos ( $\gamma_g$ ) consiste en la relación entre el peso y el volumen de una partícula individual de suelo. Es decir, no se consideran los vacíos existentes en el suelo. Por ello, se le denomina “densidad real” y se define a través de la siguiente ecuación:

$$\gamma_g = \frac{P_s}{V_s} \quad (10)$$

Donde:

$\gamma_g$  = Peso específico de los granos

$P_s$  = Peso seco del suelo

$V_s$  = Volumen de los granos

El desarrollo de la práctica en el laboratorio permite conocer la cantidad de agua desalojada por el cuerpo de suelo inmerso en el agua. Para la ejecución del ensayo es necesario el uso de un recipiente con volumen conocido (picnómetro).

#### **Aplicaciones:**

El peso específico relativo de los sólidos es una propiedad índice que debe determinarse a todos los suelos, debido a que este valor interviene en la mayor parte de los cálculos relacionados en mecánica de suelos, en forma relativa, con los diversos valores determinados en el laboratorio con que pueden clasificarse algunos materiales.

Una de las aplicaciones más comunes de la densidad ( $S_s$ ) se asocia a la obtención del volumen de sólidos, cuando se calculan las relaciones gravimétricas y volumétricas de un suelo.

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

| <b>Materiales</b>                                      | <b>Cantidades</b>   |
|--|---------------------|
| Picnómetro con capacidad de 50 ml                      | 01                  |
| Repartidor de muestras de 1.30 cm de abertura          | 01                  |
| Tamiz de 2 mm, conforme ABNT-EB-22/1988                | 01                  |
| Balanza con aproximación de 0.10 g                     | 01                  |
| Bandeja rectangular 40 x 60 cm                         | 01                  |
| Repartidor de muestras o cuarteador                    | 01                  |
| Termómetro graduado en 0.5 °C, de 0 °C a 60 °C         | 01                  |
| Alambre de 5 mm de diámetro con punta redondeada       | 01                  |
| Fuente de calor a gas                                  | 01                  |
| Cápsula de porcelana con 5 cm de diámetro              | 04                  |
| Embudo de 5 cm de diámetro                             | 01                  |
| Horno /estufa para temperatura de 105°C                | 01                  |
| Cuchara de madera                                      | 01                  |
| Agua destilada   | Cantidad suficiente |
| Balanza con capacidad de 5 kg y aproximación de 0.10 g | 01                  |

## 2.2 Metodología

1. Después de recibir la muestra en el laboratorio, se seca el material en el horno a temperatura constante de 105 °C-110 °C y se deja enfriar en el secador.
2. Se toma una muestra de 20 gramos de suelo seco para ensayar.
3. Se obtiene el peso del picnómetro limpio, seco y vacío (P1).
4. Se coloca la muestra dentro del picnómetro y se pesa (P2).
5. Se coloca agua destilada en el picnómetro hasta cubrir completamente la muestra.
6. Utilizando la fuente de calor (mechero) se calienta el picnómetro con el agua destilada y el suelo hasta 15 minutos de manera que permita expulsar todo el aire existente entre las partículas de suelo (se debe agitar continuamente para evitar sobrecalentamiento).
7. Se deja enfriar el picnómetro a temperatura ambiente.
8. Con el picnómetro frío, se llena de agua destilada y se coloca en un recipiente a baño de agua a temperatura ambiente durante 15 minutos. Se coloca el tapón del picnómetro de forma que aflore el agua.
9. Se toma la temperatura del agua del recipiente.
10. Se retira el picnómetro del recipiente, se seca y se pesa el contenido (P3).
11. Se retira todo el material del picnómetro lavando y secando perfectamente.

12. Se llena completamente el picnómetro de agua destilada (solo agua) y se vuelve a colocar en el agua de baño como en el procedimiento 8. Se deja por 15 minutos.
13. Se retira el picnómetro del recipiente de agua de baño, se seca y se toma su peso ( $P_4$ ). Se toma la temperatura del agua de baño.

Para obtener la densidad de un suelo a temperatura ( $t$ ) se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_t = \frac{P_2 - P_1}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \quad (11)$$

Donde:

$D_t$  = Densidad real del suelo a temperatura  $t$

$P_1$  = Peso picnómetro vacío y seco en gramos

$P_2$  = Peso picnómetro + suelo en gramos

$P_3$  = Peso picnómetro + suelo + agua destilada en gramos

$P_4$  = Peso picnómetro + agua destilada en gramos

### 3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS

1. Calcular la densidad del suelo a temperatura (t), utilizando la ecuación No. 11.

**¡Importante!** El resultado final es expresado en un número adimensional y con aproximación a centésimos. El resultado del ensayo será considerado satisfactorio cuando las medias obtenidas de dos ensayos indiquen diferencia de 0.009.

### 4 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA

| <b>Brasil</b>                    | <b>Colombia</b>       | <b>Paraguay</b>            | <b>Perú</b>  | <b>Chile</b>      | <b>Ecuador</b>         |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------|-------------------|------------------------|
| NBR-6508<br>DNER-DPT<br>M 093/94 | NTC-1667<br>INV E-161 | ASTM- D1556<br>AASHTO-T191 | MTC<br>E-117 | NCh-1516<br>LN-62 | NTE INEN-<br>ISO 11508 |

## 5 REFERENCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1556**: Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in place by Sand-Cone Method. West Conshohocken. 2015. 1 p.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 191**: Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in place by Sand-Cone Method. West Conshohocken, 2014. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro. 2016. 1 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-DPT M 093/94**: Solos – Determinação da densidade real. Rio de Janeiro. 1994. 1 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. **NTC 1667**: Método de ensayo para determinar la densidad y el peso unitario en el terreno. Método del cono de Arena. Bogotá. 2002. 1 p.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. **NTE INEN-ISO 11508**: Calidad del suelo. Determinación de la densidad de las partículas. Quito, 2014. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE INVIAS. **INV E-161**: Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método del cono de Arena. Bogotá. 2013. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMATIZACIÓN. **NCh 1516**: Determinación de la densidad en el terreno – Método del cono de arena. Santiago, 1979. 1 p.

LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD. **LNV 62**: Método del cono de arena para determinar la densidad en el terreno. Santiago, 2016. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E 117**: Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo In situ, mediante el método de cono de Arena. Lima, 2000. 1 p.

## PRÁCTICA 6 – Ensayo de compactación Proctor

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

**Objetivo:** El objetivo de la práctica es determinar la correlación de humedad y la masa específica aparente de un suelo que pasa por el tamiz de 19 mm y compactado con energía sobre muestras no trabajadas.

### 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Se entiende por compactación la aplicación mecánica de cierta energía, o cantidad de trabajo por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas. Al obtenerse un mejor acomodo de las partículas sólidas y la expulsión de aire que contiene el suelo, se produce un aumento de su peso volumétrico o específico.

Si a un suelo cuya humedad es baja se le van dando ciertos incrementos a su contenido de agua y se le aplica cada vez la misma energía de compactación, su peso volumétrico va aumentando, propiciado por la acción lubricante del agua, hasta que llega un momento en el que el peso volumétrico del material seco, calculado a partir del peso volumétrico del material húmedo y de la humedad, alcanza un valor máximo.

Al contenido de agua con el que se obtiene el mejor acomodo de partículas y el mayor peso volumétrico o específico del material seco, para una determinada energía de compactación, se le denomina humedad óptima y al peso volumétrico correspondiente se le designa como peso volumétrico o peso específico seco máximo.

Cuando a partir de esta condición de humedad óptima y peso volumétrico seco máximo, se incrementa el agua para un mismo volumen, el agua con el aire remanente ocuparía el lugar de algunas partículas de suelo.

Obteniéndose en consecuencia pesos volumétricos que van siendo menores a medida que el agua aumenta. Si en un sistema de ejes coordenados se sitúan los puntos correspondientes a cada peso volumétrico seco con su respectiva humedad y se unen con una curva, quedará representada la variación del peso volumétrico de un material para diferentes contenidos de agua y una misma energía de compactación; esta curva adopta aproximadamente la forma de una parábola, siendo más pronunciada su curvatura en el caso de suelos arenosos que en los suelos arcillosos.

El contenido de agua óptimo y el peso volumétrico seco máximo de un suelo, también varían con la energía de compactación; cuando ésta se aumenta, se obtienen mayores pesos volumétricos secos máximos con humedades óptimas menores. A su vez, la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo son función del tipo de suelo; los suelos gruesos, para una misma energía de compactación, tienen en general mayores pesos volumétricos y menores contenidos de agua que los suelos finos.

De acuerdo con la naturaleza de los materiales y con el uso que se les pretenda dar, se han establecido procedimientos de prueba para llevar a cabo la compactación de los suelos en el laboratorio, con objeto de referenciar y evaluar la compactación que se alcanza con los procedimientos aplicados en el campo, para determinar el grado de compactación del material. Tomando en cuenta la forma de aplicar la energía al material, las pruebas de compactación que generalmente se emplean son de los siguientes tipos:

- a. por impactos, como son las pruebas de: Compactación dinámica AASHTO estándar, Proctor SOP, AASHTO modificada de 3 y 5 capas y los Métodos de California y de Texas;
- b. por carga estática, como es la prueba de compactación Porter;
- c. por amasado, como es el caso del método de compactación de Hveem;
- d. por vibración, como es el método de compactación en que se utiliza una mesa vibratoria.

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

| <b>Materiales</b>   | <b>Cantidades</b> |
|---|-------------------|
| Molde cilíndrico metálico de 15.24 cm (+/-) 0.05 cm de diámetro interno y 17.78 cm (+/-) 0.02 cm de altura      | 05                |
| Extensión del molde metálico con el mismo diámetro interno  | 05                |
| Pisón metálico de cara interior plana de diámetro de 5.08 cm. y peso de 4.536 kg<br>Altura de caída de 45.72 cm | 05                |
| Balanza con capacidad de 20 kg, con aproximación a 1 g  | 01                |
| Bandeja rectangular de 40 x 60 cm   | 06                |
| Tamiz No. 4   | 01                |
| Extractor de muestras de molde cilíndrico con funcionamiento hidráulico   | 01                |
| Balanza con capacidad de 1 kg y aproximación a 0.10 g   | 01                |
| Estopa para limpieza del molde  | 01                |
| Martillo de goma  | 01                |
| Regla biselada de 30 cm de largo  | 01                |
| Repartidor de muestras de 5 cm de abertura  | 01                |
| Cápsulas de aluminio con tapa   | 10                |
| Probeta graduada de capacidad de 1000 ml  | 01                |
| Papel o filtro circular con 15 cm de diámetro   | 05                |
| Accesorios tales como: espátula, cucharón, guantes, pala de madera, cuchillo                                    | 01                |

## 2.2 METODOLOGÍA

### 2.2.1 Preparación de la muestra:

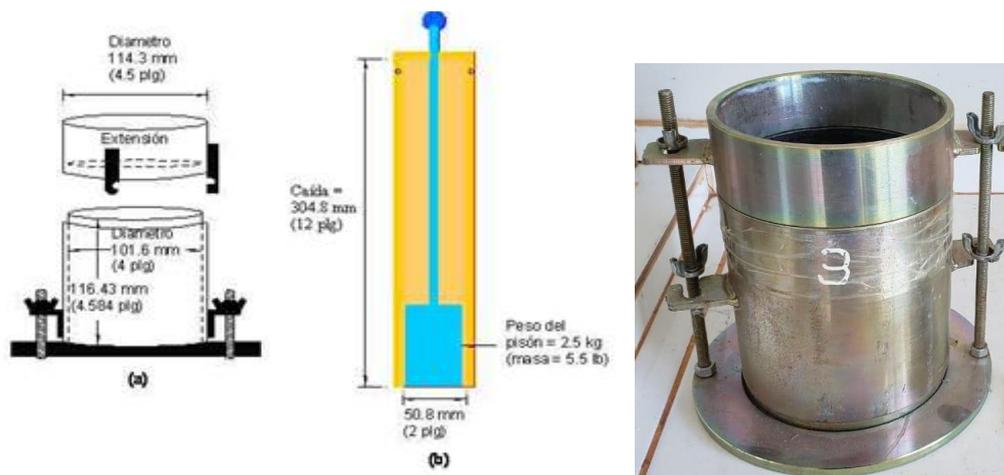
1. Se seca la muestra de suelo al aire. Se disgregan los granos del suelo de forma manual. Por medio del repartidor de muestras o por cuarteamiento se obtiene una muestra de 6 kg (aproximadamente) para suelos arcillosos y 7 kg para suelos arenosos.
2. Se pesa la muestra representativa que haya pasado por el tamiz de 1”.
3. Se deberá repetir esta operación, tantas veces como números de cuerpos de prueba se realicen (normalmente 5).

### 2.2.2 Ejecución del ensayo:

1. Se fija el molde a la base metálica y se ajusta la extensión. Se deberá compactar el suelo con el disco separador de forma conjunta al molde cilíndrico (como fondo falso) (ver figura 11).
2. Colocar una capa del suelo dentro del cilindro metálico (5 capas para todo el cilindro) compactándolo por medio del pisón metálico. Se deberá compactar de forma circular para distribuir el grado de compactación en el suelo. Se darán 25 golpes por cada capa incorporada al molde cilíndrico.
3. Se retira la extensión del molde cilíndrico tomando cuidado de no dañar la superficie superior del suelo.
4. Retirar la porción de suelo excedente del molde cilíndrico por medio de la regla biselada y el cuchillo. Es importante mencionar que la parte superior del suelo deberá estar totalmente horizontal a la boca superior del molde cilíndrico.
5. Se pesa el molde cilíndrico con la muestra de suelo ( $P'h$ ).
6. Se obtiene el cuerpo de prueba del suelo con el extractor de muestras.
7. Con el cuerpo de prueba ya extraído se retiran dos muestras representativas de 250 gramos cada una para determinar la humedad del suelo.

8. Se pesan las muestras antes de colocarlas en la estufa.
9. Se seca el suelo en una estufa a 105 °C.
10. Se repiten las operaciones tantas veces sea necesario para diferentes contenidos de humedad y cuantas veces se desee caracterizar la curva de compactación del material.

**Figura 11** – a. Fijación del molde a la base; b. Caída del pistón



Fuente: AUTORES (2019).

### 2.2.3 Energías de compactación

Son definidos 3 tipos de energías de compactación:

1. Método A – Normal: Se realizan todas las operaciones de la forma indicada; solamente el ítem 2.2.2.2) modifica a 12 golpes por capa.
2. Método B – Intermedio: Se realizan todas las operaciones de la forma indicada; solamente el ítem 2.2.2.2) modifica a 25 golpes por capa.
3. Método C – Modificada: – Intermedio: Se realizan todas las operaciones de la forma indicada; solamente el ítem 2.2.2.2) modifica a 55 golpes por capa.

Para obtener la humedad del suelo se aplica la ecuación:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100 \quad (12)$$

Donde:

$h$  = Contenido de humedad en porcentaje

$P_h$  = Peso del suelo húmedo

$P_s$  = Peso del suelo seco en la estufa a temperatura de 105 °C

#### 2.2.4 Peso del suelo húmedo específico aparente compactado

1. Primero se calcula la masa específica aparente del suelo húmedo después de la compactación por la fórmula:

$$\gamma_h = \frac{P'_h}{V} \quad (13)$$

Donde:

$\gamma_h$  = Peso específico aparente del suelo húmedo en  $\text{g/cm}^3$

$P'_h$  = Peso del suelo húmedo compactado obtenido en la fase e)

$V$  = Volumen de suelo compactado en  $\text{cm}^3$  (Capacidad del molde)

### 2.2.5 Peso del suelo seco específico aparente compactado

1. Para obtener el peso del suelo seco específico compactado se emplea la siguiente ecuación:

$$\gamma_s = \gamma_h * \frac{100}{100 + h} \quad (14)$$

Donde:

$\gamma_s$  = Peso específico aparente del suelo seco en g/cm<sup>3</sup>

$\gamma_h$  = Peso específico aparente del suelo húmedo en g/cm<sup>3</sup>

$h$  = Contenido de humedad del suelo compactado calculado

### 3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS

1. Calcule la humedad del suelo utilizando la ecuación 12.
2. Calcule el peso específico aparente del suelo húmedo utilizando la ecuación 13.
3. Calcule el peso específico aparente del suelo seco utilizando la ecuación 14.
4. Realice la curva de compactación que está definida en el eje de ordenadas como el peso específico del suelo seco ( $\gamma_s$ ) y en las abscisas el contenido de humedad correspondiente.
5. ¿Cuál es el valor de la humedad óptima? (La humedad óptima corresponde al valor que intercepta el valor del peso específico aparente máximo del suelo en la curva de compactación).

### 4 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA

| <b>Brasil</b>       | <b>Colombia</b>                      | <b>Paraguay</b>                                     | <b>Perú</b>                    | <b>Chile</b>                   | <b>Ecuador</b>  |
|---------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|---|
| DNIT<br>164/2013-ME | INV E-<br>141/13<br>INV E-<br>142/13 | ASTM-D698<br>ASTM -D422<br>AASHTO T99<br>AASHTOT180 | MTC E-<br>115<br>MTC E-<br>116 | NCh-1534/2<br>LNV-94<br>LNV-95 | ASTM-D698<br>ASTM-D422<br>AASHTO-T99<br>AASHTO-<br>T180 |

## 5 REFERENCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 99**: Standard Test Method for Moisture-Density Relations of Soils Using a 2.5-kg (5.5-lb) Rammer and a 305-mm (12-in) Drop. West Conshohocken, 2019. 1 p.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 180**: Standard Test Method for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in) Drop. West Conshohocken, 2020. 1 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D422**: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. West Conshohocken. 2016. 1 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D698**: 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>)). West Conshohocken. 2012. 1 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE: **DNIT 164**: Solos – Compactação de solos utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2013. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE INVIAS. **INV E 141**: Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (Ensayo normal de compactación). Bogotá. 2013. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE INVIAS. **INV E 142**: Relaciones humedad-peso unitario seco en los suelos (Ensayo modificado de compactación). Bogotá. 2013. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMATIZACIÓN. **NCh 1534/2**: Relaciones humedad/densidad – Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4.5 kg y 457 mm de caída. Santiago, 2008. 1 p.

LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD. **LVN 94**: Ensayo de Proctor Normal. Santiago, 2016. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-115**: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado). Lima, 2000. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-116**: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía Estándar (Proctor Estándar). Lima, 2000. 1 p.

## PRÁCTICA 7 – Relaciones gravimétricas y volumétricas

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

### Objetivo:

Determinar las cinco relaciones más importantes en un suelo parcialmente saturado, empleando el principio de Arquímedes para determinar el volumen de la muestra ( $V_m$ ):

- a. Peso volumétrico del suelo húmedo ( $\gamma_m$ );
- b. Peso volumétrico del suelo seco ( $\gamma_d$ );
- c. Relación de vacíos ( $e$ );
- d. Porosidad ( $n$ );
- e. Grado de saturación de agua ( $G_w$ ).

## 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El suelo constituye el elemento estructural de soporte de cualquier tipo de cargas de una edificación, por lo tanto es importante el estudio del comportamiento del suelo ante dichas circunstancias. Para el estudio de la mecánica de suelos se le considera al suelo como un conjunto de partículas que están en estado sólido y que poseen vacíos en su estructura, que pueden poseer líquido.

Son estas (partículas sólidas y líquidas) las que distribuyen y soportan las cargas y presiones; y además le dan las propiedades a los suelos dependiendo de la proporción en que se encuentren. Para encontrar las propiedades del suelo es necesario hacer ensayos de laboratorio.

La representación en volumen y masa esquelética de las fases se muestra a continuación conforme la figura 12.

**Figura 12** – Esquema de fases del suelo



Fuente: AUTORES (2019).

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

| <b>Materiales</b>                       | <b>Cantidades</b> |
|---|-------------------|
| Balanza con aproximación de 0.1 g       | 01                |
| Horno o estufa                          | 01                |
| Hilo                                    | 01                |
| Cuchillo                                | 01                |
| Muestra inalterada o muestra compactada | 01                |
| Bandeja metálica                        | 01                |
| Cubeta con agua                         | 01                |
| Parafina                                | 01                |

## 2.2 Metodología

1. Se retira una muestra de suelo en forma de prisma rectangular, la cual se pesa y se obtiene el peso de la muestra ( $W_m$ ).
2. Se cubre totalmente con parafina de tal forma que no queden poros, por donde podría entrar el agua.
3. Se pesa la muestra de suelo + parafina ( $W_{(m+p)}$ ).
4. Se posiciona la muestra de suelo en el centro de la balanza, y utilizando un hilo, se pesa la muestra de suelo + parafina sumergida en agua. ( $W_{(m+p)} * s$ ).
5. Se obtiene el volumen de la muestra + parafina ( $V_m + p$ ) de la siguiente manera:

$$V_m + p = \frac{W_{(m+p)} - W_{(m+p)} * s}{\gamma_w} \quad (15)$$

Donde:

$\gamma_w$  = Peso específico del agua =  $1\text{g/cm}^3$

6. Se obtiene el volumen de la parafina ( $V_p$ ) mediante la siguiente expresión:

$$V_p = \frac{W_{(m+p)} - W_m}{\gamma_p} \quad (16)$$

Donde:

$\gamma_p$  = Peso específico de la parafina =  $0.87\text{g/cm}^3$

7. Se obtiene el volumen de la muestra de suelo ( $V_m$ )

$$V_m = V_{(m+p)} - V_p \quad (17)$$

8. Se obtiene el contenido de humedad ( $W$ ) que tiene el suelo, para esto se deberá retirar totalmente la parafina con un cuchillo; del material limpio de parafina se tomará una muestra, se pesará y se someterá a secarse con el fin de obtener el contenido de agua por medio de la siguiente expresión:

$$V_p = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad (18)$$

9. Se obtiene el peso volumétrico del suelo húmedo ( $\gamma_m$ ), con la siguiente expresión:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} \quad (19)$$

10. Se obtiene el peso volumétrico del suelo seco ( $\gamma_d$ ), conforme la siguiente expresión:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{W}{100}} \quad (20)$$

11. Se obtiene la relación de vacíos ( $e$ ) siguiendo la expresión:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (21)$$

Donde:

$V_v$  = volumen de vacíos ( $\text{cm}^3$ )

$V_s$  = volumen de sólidos ( $\text{cm}^3$ )

$$W_s = \frac{W_m}{1 + \frac{W}{100}} \quad (22)$$

Donde:

$W_s$  = Peso de sólidos (g)

(23)

$$V_s = \frac{W_s}{S_s * \gamma_w}$$

Donde:

$S_s$  = Peso específico relativo de los sólidos (adimensional)

12. Se obtiene la porosidad ( $n$ ), siguiendo la expresión:

$$n = \frac{V_v}{V_m} * 100 \quad (24)$$

13. Se obtiene el grado de saturación del agua ( $G_w$ )

$$G_w = \frac{V_w}{V_v} * 100 \quad (25)$$

Donde:

$V_w$  = Volumen de agua ( $cm^3$ )

$$V_w = \frac{W_s * \frac{W}{100}}{\gamma_w} \quad (26)$$

### 3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS

1. Anexe material fotográfico de la práctica para el informe.
2. Presente cada uno de los cálculos descritos en el ítem 2.2.

### 4 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA

| <b>Brasil</b>              | <b>Colombia</b> | <b>Paraguay</b>               | <b>Perú</b>                         | <b>Chile</b>                              | <b>Ecuador</b>                |
|----------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------|
| ASTM-C29<br>ASTM D 4220-95 | NTC-<br>92/2019 | ASTM-C29<br>ASTM D<br>4220-95 | MTC E-203<br>MTC E-205<br>MTC E-206 | NCh-1532<br>ASTM-C29<br>ASTM D<br>4220-95 | ASTM-C29<br>ASTM D<br>4220-95 |

## 5 REFERENCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 4220-95**: Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Samples. West Conshohocken, p. 1. 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 29**: Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate. West Conshohocken, p. 1. 2017.

ANDRADE, Martín. **Relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo. 2015**. Disponible en: [www.es.slideshare.net/martinandradepacheco/relaciones-volumetricas-y-gravimetricas](http://www.es.slideshare.net/martinandradepacheco/relaciones-volumetricas-y-gravimetricas). Acceso en: 9 mar. 2020.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. **NTC 92**: Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados. Bogotá. 2019. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMATIZACIÓN. **NCh-1532**: Determinación de la densidad de partículas sólidas. Santiago, 1980. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-203**: Peso unitario y vacíos de los agregados. Lima, 2000. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-205**: Gravedad Específica y absorción de agregados finos. Lima, 2000. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-206**: Peso específico y absorción de agregados gruesos. Lima, 2000. 1 p.

## PRÁCTICA 8 – Permeabilidad de un suelo

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

### Objetivo:

Determinar el coeficiente de permeabilidad a carga constante y a carga variable con percolación de agua a través del suelo en régimen de flujo laminar. En la aplicación de estos métodos pueden ser utilizados cuerpos de prueba tallados o moldados, obtenidos a partir de muestras indeformadas o de la compactación de muestras deformadas. Este método también es restringido para suelos granulares, reteniendo como máximo 10% en masa, del material que pasa por el tamiz de 0,075 mm.

## 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El coeficiente de permeabilidad es una constante de proporcionalidad relacionada con la facilidad con la que se produce el flujo de agua a través de un medio poroso. Los métodos utilizados determinados se basan en la ley de Darcy, descrita de la siguiente forma:

$$v = k * i \quad (27)$$

$$q = k * i * A \quad (28)$$

Donde:

$v$  = velocidad de flujo (cm/s)

$q$  = cantidad de fluido por unidad de tiempo (cm/s)

$k$  = coeficiente de permeabilidad (unidad de velocidad)

$i$  = gradiente hidráulico =  $h/L$

**Observación:** Las dos ecuaciones son válidas para la determinación del coeficiente de permeabilidad.

En la figura 13 se muestra los valores del coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) para los diferentes tipos de suelo:

**Figura 13** – Valores del coeficiente de permeabilidad ( $k$ )



Fuente: FAO (2015).

El ensayo de carga constante es aplicado a suelos granulares o suelos con alta permeabilidad. Cuando la permeabilidad es muy baja, la determinación por el permeámetro de carga constante es poco precisa, y se utiliza entonces el de carga variable. Para suelos arcillosos, es más conveniente la determinación del coeficiente de permeabilidad por medio del ensayo de adensamiento.

El ensayo en laboratorio no genera un valor exacto para el coeficiente de permeabilidad por algunas razones, que son:

- a. el suelo en el permeámetro nunca posee el mismo estado que el que se encuentra en campo (siempre es alterado);
- b. la orientación de estratificación “in situ” para el flujo de agua probablemente no es reproducida. Para las arenas, lo que generalmente ocurre, es una relación de flujo horizontal y vertical de 3 a 4 o más ( $k_h/k_v = 3$  o más);
- c. las condiciones de contorno del suelo en campo no son las mismas que en el laboratorio. Las paredes lisas del molde facilitan los caminos del flujo. Si el suelo fuera verticalmente estratificado el flujo se modificará en diferentes niveles, siendo esta una situación de reproducción imposible en el laboratorio;
- d. la carga hidráulica ( $h$ ) es siempre mayor en laboratorio, lo que causa un cargamento de material fino en los contornos de la muestra, con posible reducción del valor de  $k$ . En el campo el gradiente hidráulico es de la orden de 0.5 a 1.5, en el laboratorio puede llegar a 5 o más;
- e. muchos son también los factores de los que es dependiente el coeficiente de permeabilidad de una masa de suelo homogénea o isotrópica;
- f. viscosidad del fluido (generalmente agua). Cuando la temperatura aumenta, la viscosidad disminuye, por ende el  $k$  aumenta, o sea el flujo aumenta;
- g. grado de saturación del suelo. Cuanto mayor es la saturación, mayor será  $k$ . La arcilla tiene un  $k$  bajo.

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

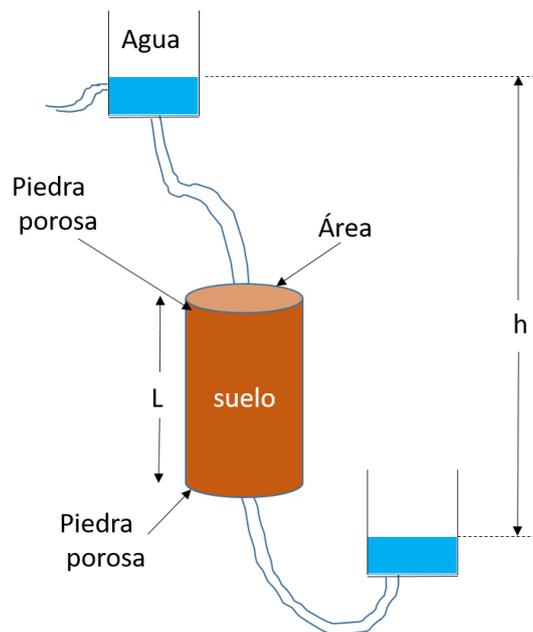
| <b>Materiales</b>  | <b>Cantidades</b> |
|--|-------------------|
| Permeámetro  | 01                |
| Estufa capaz de mantener la temperatura entre 105 °C y 110 °C                  | 01                |
| Balanza que permita pesar de 1000 g y precisión de 0.01 g                      | 01                |
| Termómetro con precisión de 0.1 °C   | 01                |
| Agua desaireada  | 01                |
| Cápsulas metálicas   | 04                |
| Paquímetro   | 01                |
| Regla de acero biselada  | 01                |
| Cronómetro   | 01                |
| Probeta graduada   | 01                |
| Tubo manométrico (con escala graduada para medición de las cargas hidráulicas) | 01                |
| Parafina   | 01                |
| Bentonita  | 01                |
| Tornero mecánico   | 01                |

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Preparación del cuerpo de prueba

En la figura 14, se esquematiza el montaje para la saturación del cuerpo de prueba, y seguidamente los pasos a realizarse:

**Figura 14** – Esquema de montaje para la saturación del cuerpo de prueba



Fuente: LIBRERÍA INGENIERO (2017).

1. Se retira una muestra indeformada (bloque o tubo), un prisma con dimensiones aproximadas 70 x 70x 100 mm con el eje de vertical en el sentido en el que se quiere medir la permeabilidad.
2. Se coloca el prisma de suelo en el soporte utilizado para cuerpos de prueba, se alisa la base y la parte superior de la muestra hasta que se obtengan superficies planas y paralelas.
3. Se coloca la muestra así preparada en el torno mecánico y se alisa la superficie lateral hasta que se obtenga un cilindro con las dimensiones de 50 mm de diámetro y 80 mm de altura.
4. Durante el proceso de tallaje del cuerpo de prueba, se retira una cantidad de material necesario para la determinación de por lo menos 3 contenidos de humedad del suelo.
5. Utilizándose el paquímetro se determinan, en posiciones diferentes, tres medidas de diámetro y altura del cuerpo de prueba.
6. Para las muestras deformadas, o sea cuerpos de prueba compactados en laboratorio, los ítems a, b, c, d, e no son necesarios.
7. Se determina la masa del cuerpo de prueba.
8. Se coloca parafina en la superficie lateral del cuerpo de prueba, con la finalidad de evitar la percolación de agua radialmente.
9. Se coloca en la base del permeámetro, una capa de material granular, de granulometría uniforme y permeabilidad superior al del cuerpo de prueba, con una espesura alrededor de 20 mm. Eso servirá de apoyo al cuerpo de prueba y a la capa drenante.

10. Se apoya el cuerpo de prueba sobre la capa de material granular, tomando cuidado para que quede vertical. Se coloca parafina no muy caliente envolviendo hasta una altura de  $\frac{1}{4}$  del cuerpo de prueba.
11. Se coloca una pasta de bentonita envolviendo el cuerpo de prueba hasta  $\frac{3}{4}$  de su altura.
12. Se coloca parafina hasta completar la altura del cuerpo de prueba.
13. Se coloca sobre el cuerpo de prueba una capa de material granular, con una espesura de 20 mm, con el fin de evitar segregación del suelo y garantizar que el flujo de agua sea laminar.
14. La saturación del cuerpo de prueba deberá realizarse por procesos de circulación de agua o por saturación por compresión.

### 2.2.2 Ensayo a carga variable

Este ensayo se debe realizar siguiendo los siguientes pasos:

1. Se determina el diámetro interno del tubo de carga.
2. Se permite que el agua percole por el cuerpo de prueba durante algún tiempo, después de la saturación del cuerpo de prueba, se procede a iniciar el ensayo.
3. Se realiza una lectura inicial en la escala del tubo manométrico ( $H_i$ ).
4. Se hace variar la carga hidráulica, y se realiza el conteo de tiempo con ayuda del cronómetro, a partir de la lectura inicial del tubo de carga.
5. Cuando el volumen de agua (menisco) alcance un plano de la marca inferior del tubo de carga, se para el conteo de tiempo y se realiza una lectura final ( $H_f$ ).
6. Se repite del ítem c), hasta el ítem e) por lo menos 3 veces.
7. Después de desmontar el cuerpo de prueba, se retiran las muestras de su interior (en posiciones diferentes) para la determinación de mínimo 3 contenidos de humedad.

### 2.2.3 Ensayo a carga constante

Para la realización del ensayo de permeabilidad a carga constante se debe seguir los siguientes pasos:

1. Se determina el valor de la carga que deberá mantener constante durante el ensayo, que es la distancia de niveles de agua de la parte superior a la parte inferior.
2. Se permite que el agua percole a través del cuerpo de prueba, durante un determinado tiempo.
3. Se recoge el agua que percola por el cuerpo de prueba, hasta un volumen de alrededor de  $100 \text{ cm}^3$ , y se determina con ayuda del cronómetro el tiempo necesario para alcanzar el volumen estipulado.
4. Se determina la masa de agua percolada.
5. Se determina la temperatura de agua utilizada en el ensayo.
6. Se repite el ítem (3) hasta el ítem (5), mínimo 5 veces.
7. Después de desmontar el cuerpo de prueba se retiran las muestras del interior (en posiciones diferentes), para la determinación de por lo menos 3 contenidos de humedad.

### 3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS

#### 3.1 Ensayo a carga variable

Para este ensayo se pide calcular lo siguiente:

- Calcular el área de la sección y el volumen del cuerpo de prueba
- Calcular los índices físicos del cuerpo de prueba antes del ensayo
- Calcular el coeficiente de permeabilidad por medio de la siguiente ecuación:

$$k = 2.3 * \frac{a * L}{A * t} * \log \left( \frac{H_i}{H_f} \right) \quad (29)$$

Donde:

$k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

$a$  = Área interna del tubo de carga ( $cm^2$ )

$H_i$  = Altura de la carga en el instante inicial (cm)

$H_f$  = Altura de la carga en el instante final (cm)

$L$  = Altura del cuerpo de prueba (cm)

$A$  = Área de la sección del cuerpo de prueba ( $cm^2$ )

$t$  = Tiempo necesario para el agua percolar en el cuerpo de prueba, en la variación de la carga (s)

Calculando el coeficiente de permeabilidad en la temperatura a la que fue realizado el ensayo, se debe calcular el mismo a una temperatura de 20°C, a través de la relación:

$$k_{20} = k_T * \frac{n_T}{n_{20}} \quad (30)$$

Donde:

$k_{20}$  = Coeficiente de permeabilidad a 20 °C

$k_T$  = Coeficiente de permeabilidad a temperatura T a que se realizó el ensayo

$n_{20}$  = Viscosidad del fluido en la temperatura de 20°C, que corresponde a 0.01005

$n_T$  = Viscosidad del fluido a temperatura T

En la tabla 9 se muestra la relación de viscosidad del agua ( $n_T/n_{20^\circ C}$ ):

**Tabla 9** – La relación de viscosidad del agua ( $n_T/n_{20^\circ C}$ )

| Temperatura<br>(°C) | $V_T/V_{20}$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                     | 0,0          | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   |
| 8                   | 1,374        | 1,370 | 1,366 | 1,362 | 1,358 | 1,354 | 1,352 | 1,348 | 1,344 | 1,340 |
| 9                   | 1,336        | 1,332 | 1,328 | 1,325 | 1,321 | 1,318 | 1,314 | 1,310 | 1,306 | 1,302 |
| 10                  | 1,298        | 1,294 | 1,292 | 1,288 | 1,284 | 1,281 | 1,277 | 1,273 | 1,269 | 1,266 |
| 11                  | 1,262        | 1,259 | 1,256 | 1,252 | 1,249 | 1,245 | 1,241 | 1,238 | 1,234 | 1,231 |
| 12                  | 1,227        | 1,224 | 1,221 | 1,218 | 1,215 | 1,211 | 1,208 | 1,205 | 1,202 | 1,198 |
| 13                  | 1,195        | 1,192 | 1,189 | 1,186 | 1,183 | 1,180 | 1,177 | 1,174 | 1,170 | 1,167 |
| 14                  | 1,165        | 1,162 | 1,159 | 1,156 | 1,153 | 1,150 | 1,147 | 1,144 | 1,141 | 1,138 |
| 15                  | 1,135        | 1,132 | 1,129 | 1,126 | 1,123 | 1,121 | 1,118 | 1,115 | 1,112 | 1,109 |
| 16                  | 1,106        | 1,103 | 1,100 | 1,098 | 1,095 | 1,092 | 1,089 | 1,086 | 1,084 | 1,081 |
| 17                  | 1,078        | 1,075 | 1,073 | 1,070 | 1,067 | 1,064 | 1,062 | 1,059 | 1,056 | 1,054 |
| 18                  | 1,051        | 1,048 | 1,046 | 1,043 | 1,041 | 1,038 | 1,035 | 1,033 | 1,030 | 1,028 |
| 19                  | 1,025        | 1,023 | 1,020 | 1,018 | 1,015 | 1,013 | 1,010 | 1,008 | 1,005 | 1,003 |
| 20                  | 1,000        | 0,998 | 0,995 | 0,993 | 0,991 | 0,989 | 0,986 | 0,984 | 0,982 | 0,979 |
| 21                  | 0,975        | 0,973 | 0,971 | 0,968 | 0,966 | 0,964 | 0,961 | 0,959 | 0,957 | 0,954 |
| 22                  | 0,952        | 0,950 | 0,948 | 0,945 | 0,943 | 0,941 | 0,939 | 0,937 | 0,934 | 0,932 |
| 23                  | 0,930        | 0,928 | 0,926 | 0,923 | 0,921 | 0,919 | 0,917 | 0,915 | 0,912 | 0,910 |
| 24                  | 0,908        | 0,906 | 0,904 | 0,902 | 0,900 | 0,898 | 0,895 | 0,893 | 0,891 | 0,889 |
| 25                  | 0,887        | 0,885 | 0,883 | 0,881 | 0,879 | 0,877 | 0,875 | 0,873 | 0,871 | 0,869 |
| 26                  | 0,867        | 0,865 | 0,863 | 0,861 | 0,859 | 0,857 | 0,855 | 0,853 | 0,851 | 0,849 |
| 27                  | 0,847        | 0,845 | 0,843 | 0,841 | 0,839 | 0,838 | 0,836 | 0,834 | 0,832 | 0,830 |
| 28                  | 0,828        | 0,826 | 0,825 | 0,823 | 0,821 | 0,820 | 0,818 | 0,816 | 0,814 | 0,813 |
| 29                  | 0,811        | 0,809 | 0,807 | 0,806 | 0,804 | 0,802 | 0,800 | 0,798 | 0,797 | 0,795 |
| 30                  | 0,793        | 0,791 | 0,789 | 0,788 | 0,786 | 0,784 | 0,782 | 0,780 | 0,779 | 0,777 |
| 31                  | 0,776        | 0,775 | 0,773 | 0,772 | 0,770 | 0,768 | 0,767 | 0,765 | 0,763 | 0,762 |

Fuente: Adaptado de la NBR 13292/1995.

### 3.2 Ensayo a carga constante

Para este ensayo se pide calcular lo siguiente:

- Calcular el diámetro y altura media del cuerpo de prueba
- Calcular el área de la sección y el volumen del cuerpo de prueba
- Con la masa de cuerpo de prueba obtenida anteriormente y el volumen, se calcula la masa específica del suelo
- Se calcula el contenido de humedad del cuerpo de prueba antes del ensayo
- Calcular la masa específica seca, índice de vacíos y grado de saturación del cuerpo de prueba
- El coeficiente de permeabilidad es calculado por la siguiente expresión:

$$k = \frac{Q * L}{h * A * t} \quad (31)$$

Donde:

$k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

$Q$  = Volumen de agua en la probeta en el tiempo  $t$  (cm<sup>3</sup>)

$L$  = Altura de la carga hidráulica, constante durante el ensayo (cm)

$A$  = Área de la sección del cuerpo de prueba (cm<sup>2</sup>)

$h$  = Altura del cuerpo de prueba (cm)

$t$  = Tiempo necesario para el agua alcanzar el volumen  $Q$  (s)

#### 4 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA

| <b>Brasil</b>  | <b>Colombia</b> | <b>Paraguay</b>           | <b>Perú</b>  | <b>Chile</b>              | <b>Ecuador</b>                |
|--|-----------------|---------------------------|--------------|---------------------------|-------------------------------|
| NBR 13292<br>NBR 5734<br>NBR 6457<br>NBR 6458<br>NBR 6508<br>NBR 7181<br>NBR 12051 | INV E-130       | ASTM-D2434<br>AASHTO-T267 | MTC<br>E-906 | ASTM-D2434<br>AASHTO-T267 | NTE INEN-<br>ISSO-<br>22282-2 |

## 5 REFERENCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 267**: Standard Method of Test for Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition. West Conshohocken, 1986. 1 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2434**: Standard Test Method for Permeability of granular Soils (Constant Head). West Conshohocken. 2019. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5734**: Peneiras para ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro. 1989. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro. 2016. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4.8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro. 2016. 1 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira de 4.8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro. 2016. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 2017. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12051**: Solo – Determinação do índice de vazios mínimos de solos não-coesivos. Rio de Janeiro. 1991. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13292**: Determinação do Coeficiente de Permeabilidade e solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro. 2021. 1 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAO. **Permeabilidad del suelo. 2015.**

Disponible en:

[https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm). Acceso en: 2 jul. 2019.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. **NTE INEN-ISO 22282-2:** Ensayos geotécnicos. Ensayos hidrogeológicos. Parte 2: Ensayos de Permeabilidad en sondeo empleando sistemas abiertos. Quito, 2014. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE INVIAS. **INV E-130:** Permeabilidad de suelos granulares (cabeza constante). Bogotá. 2013. 1 p.

LIBRERÍA INGENIERO. **Ensayo de Permeabilidad del Suelo. 2017.** Disponible en: <https://www.libreriaingeniero.com/2017/09/permeabilidad-del-suelo.html>. Acceso en: 2 jul. 2019.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-906:** Permeabilidad de Suelos Granulares (Carga Constante). Lima, 2000. 1 p.

## PRÁCTICA 9 – Consolidación unidimensional de suelos

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

### Objetivo:

Obtener los parámetros necesarios para calcular hundimientos por consolidación y los tiempos en que estos se producen y determinar lo siguiente:

- a. asentamiento por consolidación;
- b. gráfica de cambio de altura vs tiempo;
- c. hallar indirectamente la permeabilidad de suelo;
- d. determinar el esfuerzo coeficiente de consolidación en la carga realizada;
- e. coeficiente de consolidación volumétrica.

## 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En una situación real, donde es preciso resolver un problema de consolidación de suelos, es necesario determinar no solo el tiempo en el cual se produce la consolidación sino también la magnitud del asentamiento que tendrá lugar debido a la deformación del suelo. Para esto se realiza el ensayo de consolidación de suelos o también llamado ensayo de compresión confinada, el cual consiste en someter a un esfuerzo de compresión axial una muestra inalterada de suelo en estudio. La muestra deberá ser inalterada, porque la consolidación depende de la estructura del suelo.

Consolidación inicial: Reducción casi instantánea en el volumen de la masa de un suelo bajo una carga aplicada, que precede a la consolidación primaria, debida principalmente a la expulsión y compresión del aire contenido en los vacíos del suelo.

Consolidación primaria: Reducción en el volumen de la masa de un suelo originada por la aplicación de una carga permanente y la expulsión de agua de los vacíos, acompañada por una transferencia de carga del agua a las partículas sólidas del suelo conforme figura 15:

**Figura 15** – Consolidación primaria de un suelo



Fuente: AUTORES (2019).

Consolidación secundaria: Reducción en el volumen de la masa del suelo, causada por la aplicación de una carga permanente y el acomodo de la estructura interna de su masa, luego de que la mayor parte de la carga ha sido transferida a las partículas sólidas del suelo.

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

| <b>Materiales</b>                          | <b>Cantidades</b> |
|--|-------------------|
| Tubo                                       | 01                |
| Parafina                                   | 01                |
| Papel filtro                               | 03                |
| Agua destilada                             | 01                |
| Balanza digital con aproximación de 0.01 g | 01                |
| Horno o estufa                             | 01                |
| Piedra porosa                              | 01                |
| Consolidómetro                             | 01                |
| Caja de consolidación                      | 01                |
| Anillo cortante                            | 01                |
| Deformímetro                               | 01                |
| Regla de nivel                             | 01                |
| Cápsula metálica                           | 04                |
| Paquímetro                                 | 01                |
| Cronómetro                                 | 01                |

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Preparación de la muestra

Usualmente se usan muestras inalteradas (ASTM D-3550) obtenidas de bloques inalterados grandes creados y sellados en campo con parafina. El almacenamiento de muestras selladas deberá ser tal que no pierdan humedad, también que no haya evidencia de secamiento parcial ni de contracción en los extremos de la muestra.

### 2.2.2 Preparación de la muestra

1. Retire la capa de parafina de las paredes del bloque inalterado.
2. Inserte el anillo cortante en el bloque inalterado y recorte la muestra utilizando un cuchillo o sierra de alambre.
3. Enrase la cara superior e inferior de la muestra con un cuchillo y llene los vacíos con el material recortado.
4. Retire la muestra del anillo cortante y determine la altura inicial ( $H_o$ ) y el diámetro (D) tomando el promedio de por lo menos 3 medidas.
5. Calcule el volumen inicial ( $V_o$ ) de la muestra, en función del diámetro y de la altura inicial de la muestra.
6. Pese el anillo de consolidación y registre su masa ( $M_a$ ).

7. Coloque la muestra en el anillo de consolidación y determine la masa inicial de la muestra, pesando el conjunto anillo más muestra y restando la masa del anillo ( $M_{fo}$ ).
8. Obtenga 2 o 3 contenidos de humedad inicial, utilizando el material recortado de la muestra, de acuerdo con la norma ASTM D-2216.

### 2.2.3 Procedimiento

1. Humedezca las piedras porosas y el papel filtro si el suelo está parcialmente saturado o manténgalas secas si el suelo es expansivo.
2. Ensamble la caja de consolidación.
3. Coloque la caja de consolidación en el dispositivo de carga poniendo sobre la mesa el disco móvil de acero para uniformizar la carga.
4. Coloque el deformímetro en el aparato de carga junto al dispositivo que lo sostiene.
5. Aplique una carga para el asentamiento de 5 KPa para suelos firmes y de 2 KPa – 3 KPa para suelos blandos (Para producir estas presiones se deben aplicar cargas de 160 g y 80 g respectivamente).
6. Aplicada la carga, llene con agua la caja de consolidación y deje que la muestra se sature.

7. Coloque cargas sobre el consolidómetro para obtener presiones sobre el suelo de aproximadamente 30.40 KPa, 61.80 KPa, 123.60 KPa, 248.20 KPa, 495.40 KPa, 991.80 KPa (Para obtener estas presiones se deben aplicar cargas de 1 kg, 2 kg, 4 kg, 8 kg, 16 kg, 32 kg), antes de aplicar un incremento de presión registre la altura de la muestra.
8. La duración de cada incremento de carga debe ser de 24 horas, inmediatamente aplicado cada incremento, se debe iniciar el cronómetro y registrar las lecturas de deformación de la muestra a intervalos de 0.1 minutos, 0.25 minutos, 0.5 minutos, 1 minuto, 2 minutos, 4 minutos, 8 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas y 24 horas.
9. Una vez tomada la última lectura (con el último incremento de carga), descargue el suelo mediante reducciones de carga.
10. Para disminuir la expansión durante la descarga, se deberá descargar hasta la muestra establecida de 5 KPa para suelos firmes y 2 KPa – 3 KPa para suelos blandos. Una vez concluido el ensayo, retire la carga final y desarme la caja de consolidación lo más rápido posible.
11. Pese la masa de la muestra extraída de la caja de consolidación ( $M_{tf}$ ) pesando el conjunto anillo más muestra y restando la masa del anillo.
12. Coloque a secar la muestra en la estufa a una temperatura de 110°C, pese la masa seca ( $M_{sf}$ ) y determine el contenido de Humedad ( $W_f$ ), conforme la norma ASTM D 2216.

### 3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS

1. Calcule el contenido de humedad inicial y final, siguiendo la siguiente ecuación:

$$W_o = \frac{M_{HO} - M_S}{M_S - M_{RECIPIENTE}} * 100 \quad (32)$$

Donde:

$W_o$  = Contenido de humedad inicial (%)

$M_{HO}$  = Peso del recipiente + muestra húmeda antes del ensayo (g)

$M_S$  = Peso del recipiente + suelo seco antes del ensayo (g)

$M_{RECIPIENTE}$  = Peso del recipiente (g)

$$W_f = \frac{M_{tf} - M_{Sf}}{M_S - M_{ANILLO}} * 100 \quad (33)$$

Donde:

$W_f$  = Contenido de humedad final (%)

$M_{tf}$  = Peso del anillo + muestra húmeda después del ensayo (g)

$M_{Sf}$  = Peso del anillo + suelo seco después del ensayo (g)

$M_{ANILLO}$  = Peso del anillo (g)

2. Calcular la altura de los sólidos, conforme la siguiente ecuación:

$$H_S = (H_O - \Delta H) * \frac{M_{tf} - M_{Sf}}{A} \quad (34)$$

Donde:

$H_O$  = Altura inicial de la muestra (cm)

$\Delta H$  = Asentamiento total de la muestra al finalizar el ensayo (cm)

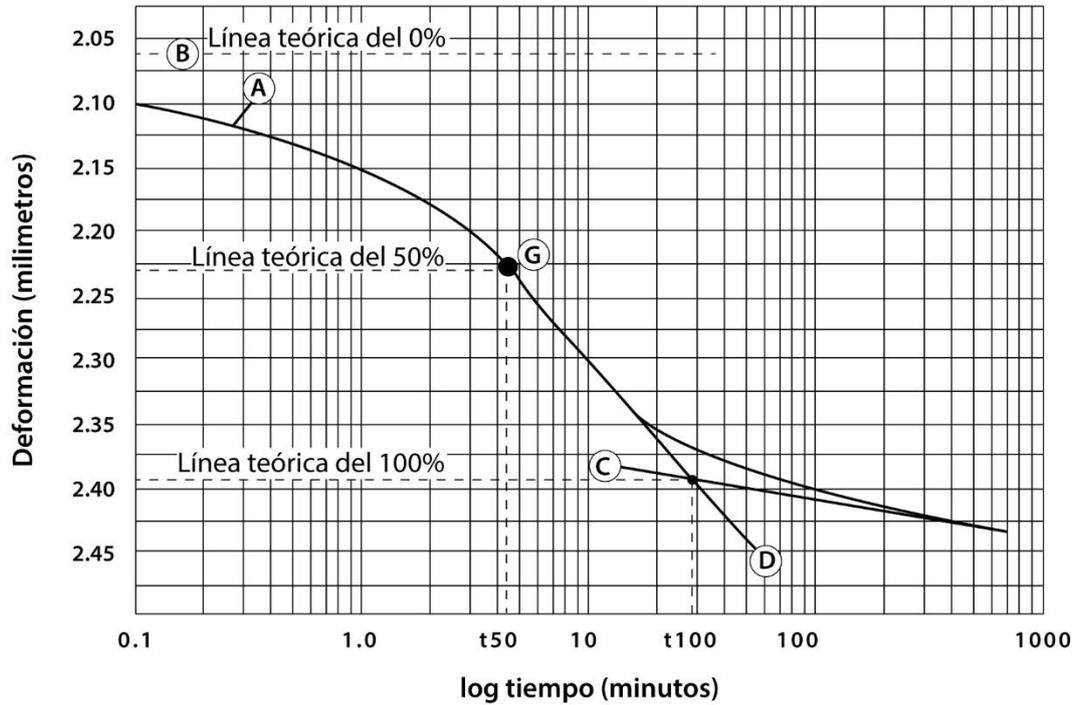
3. Calcule la relación de vacíos inicial y final, mediante las siguientes ecuaciones:

$$e_o = \frac{H_o - H_S}{H_S} \quad (35)$$

$$e_f = \frac{H_f - H_S}{H_S} \quad (36)$$

4. Construya la gráfica en escala semilogarítmica la curva deformación (ordenadas) vs log tiempo (abscisas) por el método de logaritmo del tiempo. En el gráfico 1 se muestra el esquema específico.

**Gráfico 1** – Curva deformación vs Log tiempo



Fuente: Adaptado de la Norma ASTM D 2435-90.

#### 4 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL 0%, 50% Y 100% DE LA CONSOLIDACIÓN PRIMARIA

1. Trace una línea recta (C) a través de los puntos que representan las lecturas finales y que muestran una tendencia recta y una inclinación suave.
2. Trace una segunda recta tangente a la parte más pronunciada de la curva (D). La intersección entre las dos rectas representa la deformación d100, y el tiempo t100, corresponde al 100% de la consolidación primaria. La consolidación que sobrepase el 100% se define como consolidación secundaria.

#### 5 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA

| <b>Brasil</b>                                | <b>Colombia</b> | <b>Paraguay</b>                              | <b>Perú</b>  | <b>Chile</b>                 | <b>Ecuador</b>                                  |
|--|-----------------|--|--------------|------------------------------|---|
| ASTM D2435-90<br>AASHTO T216<br>AASHTO D3550 | INV E-151       | ASTM D2435-90<br>AASHTO T216<br>AASHTO D3550 | MTC<br>E-135 | NCh-3129<br>ASTM<br>D2435-90 | ASTM D2435-90<br>AASHTO T216<br>AASHTO<br>D3550 |

## 6 REFERENCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 216**: Standard Method of Test For One – Dimensional Consolidation Properties of Soils. West Conshohocken, 2007. 1 p.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO D 3550**: Standard Practice for Thick Wall, Ring – Lined, Split Barrel, Drive Sampling of Soils. West Conshohocken, 2007. 1 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2435-90**: Standard Method of Test For One – Dimensional Consolidation Properties of Soils. West Conshohocken, 2007. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE INVIAS. **INV E-151**: Consolidación Unidimensional de los suelos. Bogotá. 2013. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMATIZACIÓN. **NCh-3129**: Determinación de Parámetros de consolidación unidimensional de suelos usando carga incremental. Santiago, 2007. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-135**: Determinación de las propiedades de Consolidación Unidimensional de suelos. Lima, 2000. 1 p.

## PRÁCTICA 10 – ÍNDICE DE SOPORTE CALIFORNIA (ISC)

### Etapa preliminar para el desarrollo de la práctica:

- Leer con atención el procedimiento experimental y consecuentemente realizar las anotaciones y cálculos correspondientes para la elaboración del informe.

### Objetivo:

Esta práctica tiene por objetivo fijar las condiciones para la determinación del Índice de Soporte California y Expansión de suelos, utilizando muestras deformadas, no reutilizadas.

## 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Este ensayo también conocido como CBR – “*Californian Bearing Ratio*”, tiene por finalidad evaluar la resistencia mecánica de los suelos, de modo a permitir la selección de los materiales que compondrán las capas de pavimentación.

El Índice de Soporte California (ISC) es la relación, en porcentaje, entre la presión ejercida por un pistón de diámetro estandarizado necesario a la penetración en un suelo hasta determinado punto (0,1” y 0,2”) y la presión necesaria para que el mismo pistón penetre la misma cantidad en un suelo-padrón de grava graduada. A través de este ensayo es posible conocer cuál será la expansión de un suelo sobre un pavimento cuando este esté saturado, y contenga indicaciones de pérdida de la resistencia del suelo con la saturación.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

| <b>Materiales</b>  | <b>Cantidades</b> |
|--|-------------------|
| Molde cilíndrico   | 05                |
| Disco espaciador   | 01                |
| Plato perforado con varilla central ajustable  | 05                |
| Maza de 4,5 kg   | 01                |
| Vástago de extensión   | 01                |
| Trípode porta extensómetro   | 05                |
| Papel filtro   | 05                |
| Prensa con anillo dinamométrico  | 01                |
| Tanque de inmersión  | 01                |
| Cápsula metálica para la humedad   | 10                |
| Bandeja metálica de 75 x 50 x 5 cm   | 05                |
| Regla biselada   | 01                |
| Estufa / horno   | 01                |
| Balanza con capacidad de 20 kg, 1500 g e 200 g con resolución respectivamente de 1 g, 0,1 g y 0,01 g | 01                |
| Probeta  | 01                |
| Tamiz de 19 mm y 4,8 mm  | 01                |
| Concha metálica  | 01                |
| Extractor de cuerpo de prueba  | 01                |

## 2.2 Procedimiento experimental

### 2.2.1 Preparación de la muestra

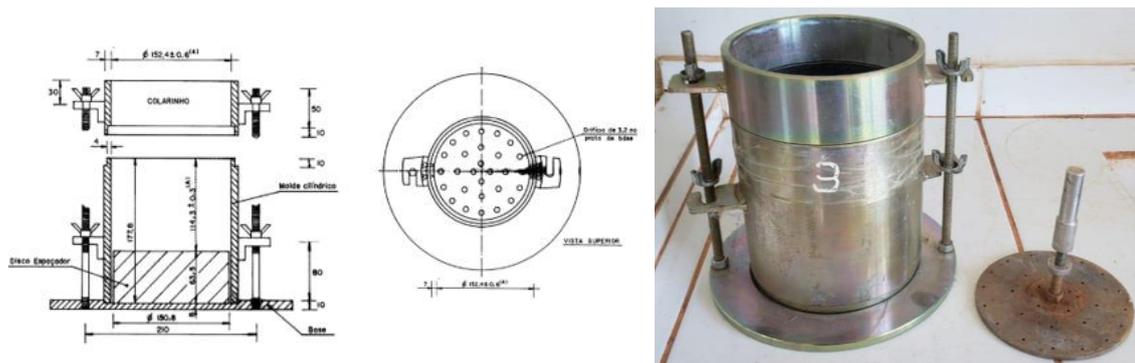
1. Se seca la muestra al aire y luego se pesa 50 kg.
2. Se deshacen y rompen los posibles terrones contenidos en la muestra, hasta homogeneizarse adecuadamente.
3. Pasar el material por el tamiz de 19 mm.
4. Determinar la humedad higroscópica del suelo seco al aire.

### 2.2.2 Preparación de los cuerpos de prueba

1. Se divide las muestras en cinco bandejas con 7 kg del material.
2. Se adiciona una cierta cantidad de agua en cada bandeja y se homogeniza, sacando una muestra representativa del material restante en la bandeja para la determinación de la humedad antes e inmediatamente después de la compactación, con aproximadamente 100 g de masa.

- Colocar el disco espaciador sobre la placa base. Fijar el molde, con su collar de extensión, sobre dicha placa y colocar un disco de papel filtro sobre el espaciador. Compactar el suelo en el molde de acuerdo con la PRÁCTICA 6, con el fin de obtener la humedad óptima ( $W_{op}$ ) y la densidad máxima ( $\gamma_{dmax}$ ). En la figura 16 se muestra el molde y la base perforada:

**Figura 16** – Molde metálico y base perforada



Fuente: AUTORES (2019).

- Retirar el collar de la extensión y enrasar cuidadosamente el suelo compactado con la regla biselada al nivel del borde del molde.
- Sacar la placa-base perforada y el disco espaciador y pesar el molde con el suelo compactado. Restar el peso del molde determinando la masa del suelo compactado ( $M_h$ ).

6. Determinar la masa específica aparente seca de la muestra, antes de la inmersión de cada punto, de acuerdo con la ecuación a seguir:

$$\gamma_s = \frac{M_h * 100}{V(100 + h)} \quad (37)$$

Donde:

$\gamma_s$  = Masa específica aparente seca (g/cm<sup>3</sup>)

$M_h$  = Masa húmeda del suelo compactado (g)

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

$h$  = Humedad del suelo compactado (%)

### 2.2.3 Expansión

1. Invertir el molde y fijarlo a la placa-base, con el suelo compactado en contacto con un papel filtro.
2. Colocar el vástago de expansión y la placa perforada sobre el cuerpo de prueba con el suelo compactado y aplicar las cargas hasta producir una sobrecarga mayor o igual a 4.54 kg.
3. Colocar el molde con las cargas inmerso en agua durante 96 horas. Tomar mediciones iniciales para la expansión o asentamiento con aproximación de 0.01 mm a cada 24h
4. Calcular el porcentaje de expansión que cada muestra tuvo, mediante la siguiente ecuación:

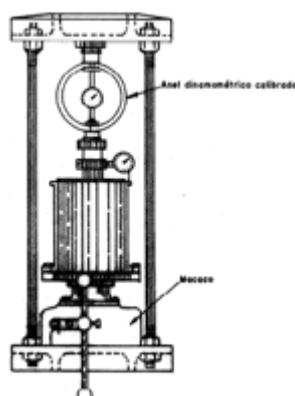
$$Expansión = \frac{(Lectura\ final - lectura\ inicial)}{altura\ inicial\ del\ cuerpo\ de\ prueba} * 100 \quad (38)$$

5. Drenar el agua del cuerpo de prueba a través de las perforaciones de la placa base durante 15 min antes de seguir con la penetración.

## 2.2.4 Penetración

1. El conjunto, molde cilíndrico con muestra y sobrecarga, se instala en la prensa Marshall como se observa en la figura 17:

**Figura 17** – Prensa para la determinación del ISC



Fuente: NBR 9895 (2017).

2. El pistón de la prensa se asienta en la superficie de la parte superior de la muestra y luego se colocan a cero los extensómetros.
3. La carga se aplica a una velocidad de 1,27 mm/min, observando la carga y la penetración a cada 30 segundos hasta que hayan transcurrido 6 minutos. En el gráfico de aferición del anillo de la prensa tiene la relación entre las lecturas y las cargas actuantes.

4. Para el cálculo de la presión, es solo dividir por el área del pistón la carga encontrada anteriormente. Enseguida se calcula el índice de Soporte California correspondiente a cada cuerpo de prueba conforme la ecuación:

$$ISC = \frac{\textit{Presión calculada}}{\textit{Presión padrón}} * 100 (\%) \quad (39)$$

### 3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, ACTIVIDADES O EJERCICIOS

1. Calcular el porcentaje de expansión, y registrar los datos de la tabla 10:

**Tabla 10** – Registro de datos del extensómetro

| Tiempo<br>(días)                    | Fecha | Hora | Lectura del extensómetro (mm) |      |      |      |      |
|-------------------------------------|-------|------|-------------------------------|------|------|------|------|
|                                     |       |      | CP01                          | CP02 | CP03 | CP04 | CP05 |
| Inicio                              |       |      |                               |      |      |      |      |
| 1                                   |       |      |                               |      |      |      |      |
| 2                                   |       |      |                               |      |      |      |      |
| 3                                   |       |      |                               |      |      |      |      |
| 4                                   |       |      |                               |      |      |      |      |
| Altura inicial del cuerpo de prueba |       |      |                               |      |      |      |      |
| Extensión (%)                       |       |      |                               |      |      |      |      |

2. Calcular las presiones de penetración en megapascales (Mpa), mediante la tabla 11:

**Tabla 11** – Registro de datos para el cálculo de presiones

| <b>Tiempo<br/>(min)</b> | <b>Penetración<br/>(mm)</b> | <b>Lectura<br/>(mm)</b> | <b>Carga<br/>(N)</b> | <b>Presión<br/>(Mpa)</b> |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|
| 0,5                     | 0,63                        |                         |                      |                          |
| 1,0                     | 1,27                        |                         |                      |                          |
| 1,5                     | 1,90                        |                         |                      |                          |
| 2,0                     | 2,54                        |                         |                      |                          |
| 2,5                     | 3,17                        |                         |                      |                          |
| 3,0                     | 3,81                        |                         |                      |                          |
| 3,5                     | 4,44                        |                         |                      |                          |
| 4,0                     | 5,08                        |                         |                      |                          |
| 5,0                     | 6,35                        |                         |                      |                          |
| 6,0                     | 7,62                        |                         |                      |                          |

3. Construya la curva de carga vs penetración y determine el ISC, completando la tabla 12:

**Tabla 12** – Registro para determinación del ISC

| <b>Penetración<br/>(mm)</b> | <b>Presión (Mpa)</b> |               | <b>ISC<br/>(%)</b> |
|-----------------------------|----------------------|---------------|--------------------|
|                             | <b>Calculada</b>     | <b>Patrón</b> |                    |
| <b>2,54</b>                 |                      | <b>6,90</b>   |                    |
| <b>5,08</b>                 |                      | <b>10,35</b>  |                    |

4. ¿Hubo errores en la ejecución del ensayo?, ¿Cuáles, y por qué ocurrieron?

#### 4 EQUIVALENCIA DE NORMAS EN LATINOAMÉRICA

| <b>Brasil</b>                      | <b>Colombia</b>                     | <b>Paraguay</b>                       | <b>Perú</b>            | <b>Chile</b>       | <b>Ecuador</b>                        |
|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| NBR 9895<br>DNIT 172/2016-<br>ME S | NTC-<br>2122/13<br>INV E-<br>148/13 | ASTM D-<br>1883/73<br>AASTHO-<br>T193 | MTC E-132<br>MTC E-133 | NCh-1852<br>LNV-92 | ASTM D-<br>1883/73<br>AASTHO-<br>T193 |

## 5 REFERENCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO-T193**: The California Bearing Ratio. Washington, USA. 1983. 1 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTMD-1883/7**: Standard Test Method for CBR of Laboratory-Compacted Soils. West Conshohocken. 1973. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017. 14 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORT. **DNIT-172**: Solos – Determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhada – Método de Ensaio. Brasília. 2016. 1 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. **NTC-2122**: Método de ensayo para CBR (California Bearing Ratio) de suelos compactados en laboratorio. Bogotá. 2013. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE INVIAS. **INV E-148**: Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de Laboratorio). Bogotá. 2013. 1 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMATIZACIÓN. **NCh-1852**: Mecánica de suelos – Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en Laboratorio. Santiago, 1981. 1 p.

LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD. **LNV-92**: Método de ensayo CBR (Razón de soporte California). Santiago, 2016. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-132**: CBR de suelos (laboratorio). Lima, 2000. 1 p.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **MTC E-133**: CBR en el terreno (CBR *in situ*). Lima, 2000. 1 p.



El estudio del suelo nos permite identificar y conocer las características físicas y geológicas del suelo, desde una interpretación empírica y mecanicista. El conocimiento de las principales propiedades y el dominio de los parámetros de análisis permiten tomar decisiones asociadas al campo de la geotecnia.

Este manual ha sido confeccionado para estudiantes de ingeniería civil, profesionales del área de geotecnia y del sector de la construcción en general, como instrumento de apoyo en lo que se refiere a fundamentos teóricos, procesos y representación de resultados en el laboratorio de mecánica de suelos.

La obra ha sido concebida como una herramienta de seguimiento a lo largo de las prácticas básicas del curso en ingeniería civil de la Universidad Federal de Integración Latinoamericana.