

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 1/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

Manual de prácticas de Movimiento de Tierras

| Elaborado por: | Revisado por: | Autorizado por: | Vigente desde: |
|---|--|--|--------------------------------------|
| M.I. Enrique Elizalde Romero Ing. Héctor A. Legorreta Cuevas M. I. Carmelino Zea Constantino | M.I. Juan Luis Umaña Romero | M. I. Germán López Rincón | 19 de enero de 2018 |

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 2/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

Práctica # 1

Compactación

PROCTOR ESTÁNDAR



| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 3/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

1. Seguridad en la ejecución

| | Peligro o Fuente de energía | Riesgo asociado |
|---|-----------------------------|-----------------|
| 1 | Ninguno | Ninguno |

2. Objetivos de aprendizaje.

2.1 Objetivo general.

Determinar la curva de compactación de un suelo para estimar el contenido de agua óptimo y la masa volumétrica seca máxima, por medio de las pruebas Proctor estándar.

2.2 Objetivos específicos.

El alumno conocerá y ejecutará el ensaye de compactación por impacto de un suelo de arena-limosa.

El alumno apreciará la importancia del contenido de agua para un mejoramiento de suelo por medios mecánicos.

3. ALCANCE.

Se realizará la prueba de compactación en un suelo del tamaño de las arenas gruesas (cribado por la malla # 4) para 6 diferentes contenidos de agua, bajo una misma energía.

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 4/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

4. Introducción

Compactación. Se entiende por compactación de los suelos el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos, disminuyendo el volumen de vacíos por la expulsión de aire, y así aumentando la densidad seca del material.

La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de la deformación, que se obtiene al someter al suelo a técnicas convenientes que aumentan su masa volumétrica seca, disminuyendo sus vacíos. Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos, y ferrocarriles, bordos de defensa, muelles, pavimentos, etc., algunas veces se hace necesario compactar al terreno natural, como en el caso de cimentaciones sobre arenas sueltas.

Métodos de compactación. Los métodos usados para la compactación de los suelos dependen del tipo de material. Se clasifican en vibratorios, por impactos, carga estática y por amasado. Se reconoce actualmente que materiales como las arenas se compactan más eficientemente por métodos vibratorios, en tanto que los suelos plásticos el procedimiento de carga estática conduce a mejores resultados.

Factores que influyen en la compactación de los suelos. Entre todos los factores que influyen en la compactación obtenida en un caso particular, podría decirse que dos son los más importantes: el contenido de agua del suelo antes de iniciarse el proceso de compactación y la energía específica empleada en dicho proceso.

Energía específica. Se entiende por energía específica de compactación (E_e) la energía suministrada al suelo por unidad de volumen. Para una prueba de impactos ésta se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$E_e = \frac{m h N n}{V} \quad (1)$$

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 5/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

Siendo:

- m masa del martillo, en *kg*.
- H altura de caída, en *cm*.
- N número de capas en que se dispone el material en el molde.
- n número de golpes aplicado a cada capa.
- V volumen de material compactado, cm^3 .

Curva de compactación. Es la representación de la variación de la masa volumétrica seca (eje vertical) en función del contenido de agua de prueba (eje horizontal), bajo una energía específica de compactación fija. El valor máximo de esta curva tiene como coordenadas $[w_{\text{ópt}}, (r_d)_{\text{máx}}]$, siendo $w_{\text{ópt}}$ el contenido de agua óptimo y $(r_d)_{\text{máx}}$ la masa volumétrica seca máxima.

Curva de saturación. Es la representación de la variación de la masa volumétrica seca en función del contenido de agua de prueba, bajo el supuesto de que el material está saturado bajo ese contenido de agua.

Grado de compactación. Es el cociente del masa volumétrica seca obtenida por el equipo de compactación de campo y el máximo obtenido de la prueba de laboratorio representativa de las condiciones de campo.

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 6/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

5. Material y Equipo



Figura 1. Equipo de prueba Proctor Estándar.

- Molde cilíndrico de 940 cm^3 de capacidad, de 4" de diámetro y 11.64 cm . de altura.
- Extensión desmontable de igual diámetro y 2" de altura.
- Base metálica con tornillos de mariposa.
- Pisón de 2.54 kg .
- Vernier
- Charola
- Espátulas
- Cápsula de vidrio
- Bolsas de plástico con material
- Horno de secado

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 7/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

6. Desarrollo de la práctica.

En términos generales la prueba Proctor estándar consiste en compactar una muestra de suelo en tres capas dentro de un molde rígido de sección circular y dimensiones estandarizadas. Por medio de golpes de un pisón de 2.54 kg de peso se compacta cada una de las capas de suelo dejando caer el pisón desde una altura de 30.5 cm.

Los alumnos se organizarán en brigadas de 6 a 8 integrantes, recibirán el equipo y el material previamente humedecido y curado.

Use el formato MDT-01 para el registro de los datos.

Actividad 1. Con la ayuda de un vernier, medir las dimensiones del molde, diámetro y altura, para obtener su volumen.

Actividad 2. Obtener la masa del molde con base y sin collarín. (m_{molde}).

Actividad 3. Armar el molde para la realización de la compactación, se coloca la base, sobre ella se coloca el molde y después se coloca el collarín (extensión).

Actividad 4. Colocar el material de la primera capa dentro del molde, a una altura aproximadamente arriba de la mitad del molde.

Actividad 5. Compactar el material mediante 25 golpes del pisón repartidos uniformemente en toda el área del suelo.

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 8/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

Actividad 6. Escarificar (rayar) la cara superior del material compactado con una espátula. Limpiar la base del martillo cada vez que se use.

Actividad 7. Colocar el material para compactar la segunda capa, llenar a una altura completa del molde, por debajo del collarín.

Actividad 8. Dar 25 impactos en forma uniforme, sin que se mueva el molde.

Actividad 9. Escarificar la superficie de la segunda capa compactada.

Actividad 10. Engrasar las superficies de contacto del collarín y el molde, así como un centímetro por arriba del borde superior de la cara interna del molde.

Actividad 11. Vaciar el material hasta llenar el molde con extensión, después compactar con el martillo.

Actividad 12. Girar el collarín lentamente para evitar degollar el material que sobresalió del molde.

Actividad 13. Enrasa el material hasta la altura del molde.

Actividad 14. Limpiar y retirar el excedente del suelo que se encuentra fuera del molde, con ayuda de una brocha.

Actividad 15. Obtener la masa del molde con el material compactado. ($m_{\text{molde+suelo húmedo}}$).

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 9/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

Actividad 16. Extrae una muestra de material compactado del interior del molde para determinar su contenido de agua, registrando la masa de la cápsula ($m_{\text{cápsula}}$), masa de la cápsula más suelo húmedo ($m_{\text{cáp} + \text{suelo húmedo}}$).

Actividad 18. Meter el testigo de humedad al horno de secado, sacarlo al día siguiente y obtener la masa de la cápsula más el suelo seco, ($m_{\text{cáp} + \text{suelo seco}}$).

5. Cálculos.

La curva de compactación del material ($\rho_d - w$) se determina a partir de la masa volumétrica seca del material compactado y del contenido de agua correspondiente.

La masa volumétrica seca (ρ_d) del material compactado se calcula como:

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + w} \quad (2)$$

Siendo:

ρ_m masa volumétrica del material húmedo compactado

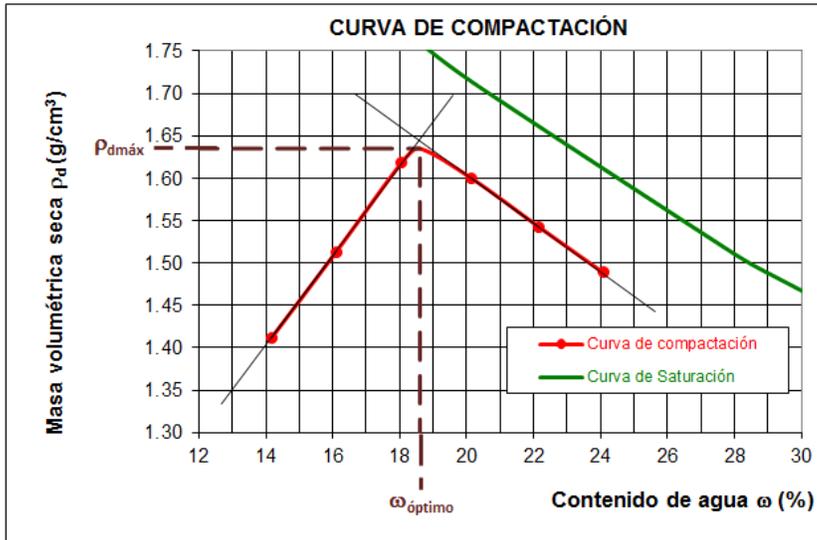
$$\rho_m = \frac{m_{\text{molde+suelohúmedo}} - m_{\text{molde}}}{V_{\text{molde}}} \quad (3)$$

w contenido de agua correspondiente.

$$w = \frac{m_{\text{cáp+suelohúmedo}} - m_{\text{cáp+sueloseco}}}{m_{\text{cáp+sueloseco}} - m_{\text{cáp}}} = \frac{m_w}{m_s} \quad (4)$$

$$\rho_d = \frac{G_s}{1 + \omega G_s} \rho_w \quad (5)$$

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 10/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |



Presentación de

resultados.

Con base al formato de Registro. MDT – 01, figura 3, trazar las curvas de compactación y saturación.

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 11/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA LABORATORIO DE GEOTÉCNIA |  | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBRA : _____ | PROF. : _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LOCALIZACIÓN : _____ | MUESTRA No. : _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SONDEO No. _____ | FECHA : _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN : _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COMPACTACIÓN PROCTOR ESTÁNDAR MDT - 01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MOLDE NO. _____ | MASA DEL MOLDE _____ g | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MASA DE MARTILLO _____ kg | ALTURA DE CAÍDA _____ cm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. DE CAPAS _____ | No. DE GOLPES POR CAPA _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VOLUMEN DE MOLDE _____ cm ³ | ENERGIA ESPECÍFICA _____ kg cm ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRUEBA No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | | | | | | | | |
| MASA MOLDE + SUELO HÚMEDO (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MASA SUELO HÚMEDO (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MASA VOLUMÉTRICA HÚMEDA (g/cm ³) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CÁPSULA No. (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MASA DE LA CÁPSULA (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MASA CÁPSULA+SUELO HÚMEDO (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MASA CÁPSULA + SUELO SECO (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MASA DEL AGUA (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MASA DE SÓLIDOS (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONTENIDO DE AGUA (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MASA ESPECÍFICA SECA (g/cm ³) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CURVA DE COMPACTACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; height: 150px;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> </tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa volumétrica seca ρ_d (g/cm ³) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Contenido de agua ω (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Curva de Saturación $\rho_d = \frac{G_s}{1 + \omega G_s} \rho_w$ $G_s = \underline{\hspace{2cm}}$ $\rho_d \text{ máx} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ g/cm}^3$ $\omega_{\text{óptimo}} = \underline{\hspace{2cm}} \%$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 3. Formato MDT-01.

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 12/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

7. Conclusiones.

En este apartado el alumno comentará si se cubrieron los objetivos de la práctica, hará una discusión sobre los factores más importantes que influyen en el ensayo y propondrá la aplicación o las restricciones del uso de estos materiales en la ingeniería civil en función de su comportamiento estudiado.

8. Bibliografía.

- ASTM (1998). *“Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soils Using Standard Effort (600 kN-m/m³)*, Designation D 698-91 (Reapproved 1998).
- ASTM (1998). *“Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soils Using Modified Effort (2700 kN-m/m³)*, Designation D 1557-91 (Reapproved 1998).
- Cheng, Liu., and Jack B., Evett (1997). *“Soil Properties, Testing, Measurement and Evaluation”*, Third Edition, Prentice Hall.
- Secretaria de Recursos Hidráulicos (1970). *“Manual de Mecánica de Suelos”*, quinta edición, México.
- Head, K. H., (1994). *“Manual of Soil Laboratory Testing”*, Vols. 1, Second Edition, Pentech Press, London.
- Rico Rodríguez A., y Del castillo Hermilo (1978). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”*, Tomo 1, Editorial Limusa.

| | | | |
|---|---|--|---------------------|
|  | Manual de prácticas de Movimiento de Tierras | Código: | MADO-41 |
| | | Versión: | 01 |
| | | Página | 13/13 |
| | | Sección ISO | 8.3 |
| | | Fecha de emisión | 19 de enero de 2018 |
| Facultad de Ingeniería | | Área/Departamento: Laboratorio de Geotencia | |
| La impresión de este documento es una copia no controlada | | | |

- Mendoza López M.J., (1986). *“Condiciones que Influyen en los Resultados de las Pruebas de Compactación de Suelos”*, Memorias de la XIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Mazatlán Sinaloa, SMMS.

9. Responsabilidades.

El profesor de prácticas es el responsable de la implantación de este procedimiento.

Los alumnos son los responsables de su aplicación en el laboratorio.

Los laboratoristas son los responsables de proporcionar los materiales y equipos para la ejecución de este procedimiento.

Los alumnos deben elaborar el informe correspondiente y entregarlo al profesor o a los técnicos académicos del laboratorio quienes son los responsables de su evaluación.