

COMPACTACIÓN DE SUELOS

Si se agrega una cantidad de agua a un suelo que luego se compacta, el suelo tendrá un cierto peso específico. El agua actúa como un lubricante entre las partículas del suelo y bajo compactación ayuda a reacomodar las partículas sólidas en un estado más denso. Al contenido de humedad al que se obtiene el peso específico seco máximo se le refiere como contenido de humedad óptimo. Las pruebas de laboratorio estándar utilizadas para evaluar los pesos específicos secos máximos y los contenidos de humedad óptimos para suelos son:

- La prueba Proctor estándar (designación ASTM D-698)
- La prueba Proctor modificada (designación ASTM D-1557)

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	944 cm ³	944 cm ³	2124 cm ³
Masa del pisón	2.5 kg	2.5 kg	2.5 kg
Altura de caída del pisón	304.8 mm	304.8 mm	304.8 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	3	3	3
Energía de compactación	600 kN·m/m ³	600 kN·m/m ³	600 kN·m/m ³
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla núm. 4 (4.75 mm). Puede usarse si 20% o menos en peso de material se retiene en la malla núm. 4.	Porción que pasa la malla de 9.5 mm. Puede usarse si el suelo retenido en la malla núm. 4 es más de 20% y 20% o menos en peso se retiene en la malla de 9.5 mm (3/8-pulg.).	Porción que pasa la malla de 19.0 mm. Puede usarse si más de 20% en peso del material se retiene en la malla de 9.5 mm y menos de 30% en peso se retiene en la malla de 19.0 mm.

Tabla 1. Especificaciones para la prueba Proctor estándar (Basadas en la designación ASTM D-698)

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	944 cm ³	944 cm ³	2124 cm ³
Masa del pisón	4.54 kg	4.54 kg	4.54 kg
Altura de caída del pisón	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2700 kN·m/m ³	2700 kN·m/m ³	2700 kN·m/m ³
Suelo para usarse	Porción que pasa la malla núm. 4 (4.75 mm). Puede usarse si 20% o menos en peso de material se retiene en la malla núm. 4.	Porción que pasa la malla de 9.5 mm. Puede usarse si el suelo retenido en la malla núm. 4 es más que 20%, y 20% o menos en peso se retiene en la malla de 9.5 mm.	Porción que pasa la malla de 19.0 mm (3/8 pulg.). Puede usarse si más de 20% en peso de material se retiene en la malla de 9.5 mm, y menos de 30% en peso se retiene en la malla de 19.0 mm.

Tabla 2. Especificaciones para la prueba Proctor modificada (Basadas en la designación ASTM D-1557)

En la figura 1, se muestra una gráfica de γ_d contra w (%) para un limo arcilloso obtenida de pruebas Proctor estándar y modificada (método a), de donde se pueden sacar las conclusiones siguientes:

1. El peso específico seco máximo y el contenido de humedad óptimo dependen del grado de compactación.
2. Entre mayor sea la energía de compactación, mayor será el peso específico seco máximo.
3. Entre mayor sea la energía de compactación, menor será el contenido de humedad óptimo.
4. Ninguna parte de la curva de compactación debe estar a la derecha de la línea de cero aire y cero vacíos. El peso específico seco a cero aire y cero vacíos γ_{zav} en un contenido de humedad dado es el valor teórico máximo de γ_d lo que indica que todos los espacios vacíos del suelo están completamente llenos de agua.
5. El peso específico seco máximo de compactación y el contenido de humedad óptimo variarán de un suelo a otro.

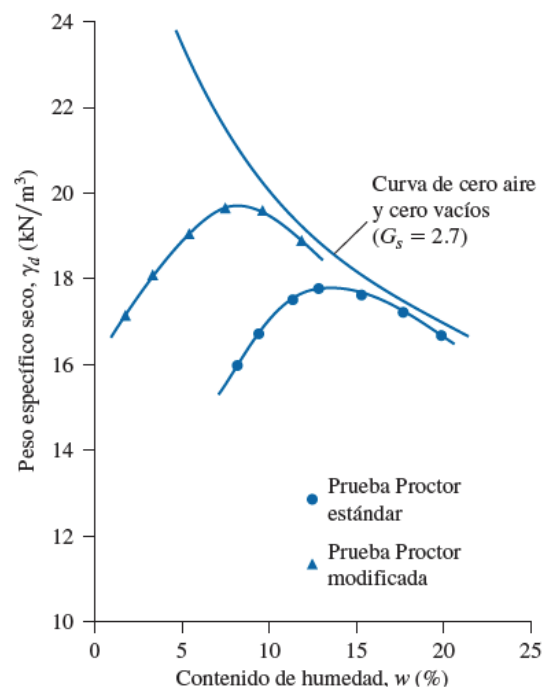


Figura 1. Curvas de compactación Proctor estándar y modificada para un limo arcilloso (método A). (Braja M. Das, 2011).

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{\frac{1}{G_s} + w}$$

donde

γ_w = peso específico del agua
 G_s = gravedad específica de los sólidos del suelo
 w = contenido de humedad del suelo

Utilizando los resultados de la compactación en laboratorio (γ_d contra w), se pueden escribir recomendaciones para la compactación de un suelo dado en el campo. En la mayoría de los casos, se requiere que el contratista logre una compactación relativa de 90% o más con base en una prueba de laboratorio específica (ya sea la prueba de compactación Proctor estándar o bien la modificada). La compactación relativa se define como:

$$RC = \frac{\gamma_d(\text{campo})}{\gamma_d(\text{máx})}$$

La densidad relativa (para la compactación de suelos granulares) esta definida como:

$$D_r = \left[\frac{\gamma_d - \gamma_{d(\text{mín})}}{\gamma_{d(\text{máx})} - \gamma_{d(\text{mín})}} \right] \frac{\gamma_{d(\text{máx})}}{\gamma_d}$$

Donde γ_d es el peso específico de compactación en el campo, $\gamma_{d(\text{máx})}$ es el peso específico seco máximo de compactación determinando en el laboratorio, $\gamma_{d(\text{mín})}$ es el peso específico seco mínimo determinando en el laboratorio.

Control de la compactación para barreras hidráulicas de arcilla

Las arcillas compactadas son de uso común como barreras hidráulicas en núcleos de presas de tierra, recubrimientos y cubiertas de rellenos sanitarios, y recubrimientos de embalses superficiales.

Como la finalidad principal de una barrera es minimizar el flujo, la permeabilidad hidráulica, k , es el factor de control.

En las figuras 2, 3 y 4 se muestran los resultados de pruebas Proctor estándar y modificada, y las permeabilidades hidráulicas de muestras compactadas.

Suelo	Clasificación	Límite líquido	Índice de plasticidad	Porcentaje de finos que pasan la malla núm. 200 (0.075 mm)
Wisconsin A	CL	34	16	85
Wisconsin B	CL	42	19	99
Wisconsin C	CH	84	60	71

Tabla 3. Características de los suelos reportados en las figuras 2, 3 y 4. (Braja M. Das, 2011).

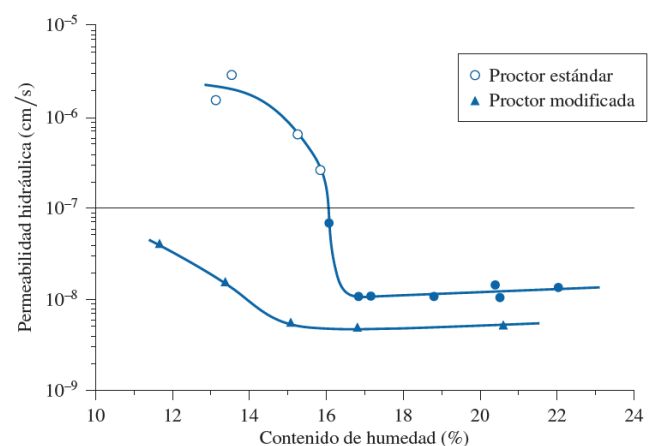


Figura 2. Resultados de pruebas Proctor estándar y modificada y permeabilidad hidráulica del suelo Wisconsin A. (Según Othman y Luetlich, 1994).

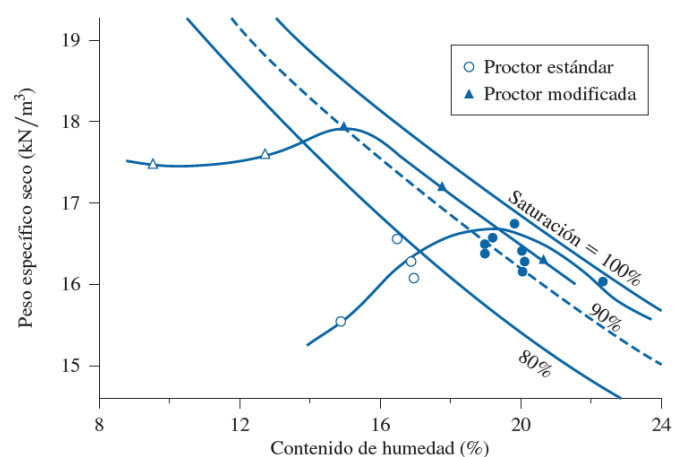


Figura 3. Resultados de pruebas Proctor estándar y modificada, y permeabilidad hidráulica del suelo Wisconsin B. (Según Othman y Luetlich, 1994).

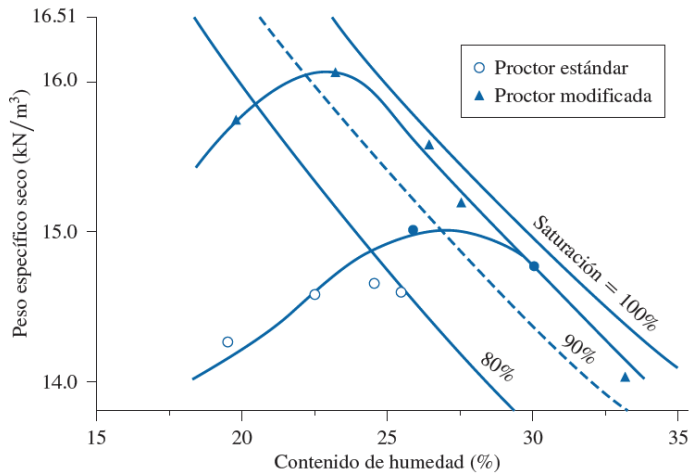


Figura 4. Resultados de pruebas Proctor estándar y modificada y permeabilidad hidráulica del suelo Winsconsin C. (Según Othman y Luettich, 1994).

Vibroflotación

La vibroflotación es una técnica para la densificación in situ de capas gruesas de depósitos de suelo granular suelto. El proceso comprende emplear un vibroflot (o unidad vibratoria). El dispositivo es de aproximadamente 2 m de longitud. Esta unidad vibratoria tiene un peso excéntrico en su interior y puede desarrollar una fuerza centrífuga.

Todo el proceso de compactación se puede dividir en cuatro pasos, consulte la figura 6:

Paso 1. El chorro en fondo del vibroflot se activa y el vibroflot baja hacia el terreno.

Paso 2. El chorro de agua crea una condición movediza en el suelo, lo que permite el hundimiento de la unidad vibratoria.

Paso 3. Se vierte material granular en la parte superior del agujero. El agua del chorro inferior se transfiere al chorro en la parte superior de la unidad vibratoria. Esta agua transporta el material granular hacia abajo del agujero.

Paso 4. La unidad vibratoria se sube en forma gradual en incrementos de aproximadamente 0.3 m y se mantiene vibrando durante aproximadamente 30 segundos a la vez. Este proceso compacta el suelo hasta el peso específico deseado.

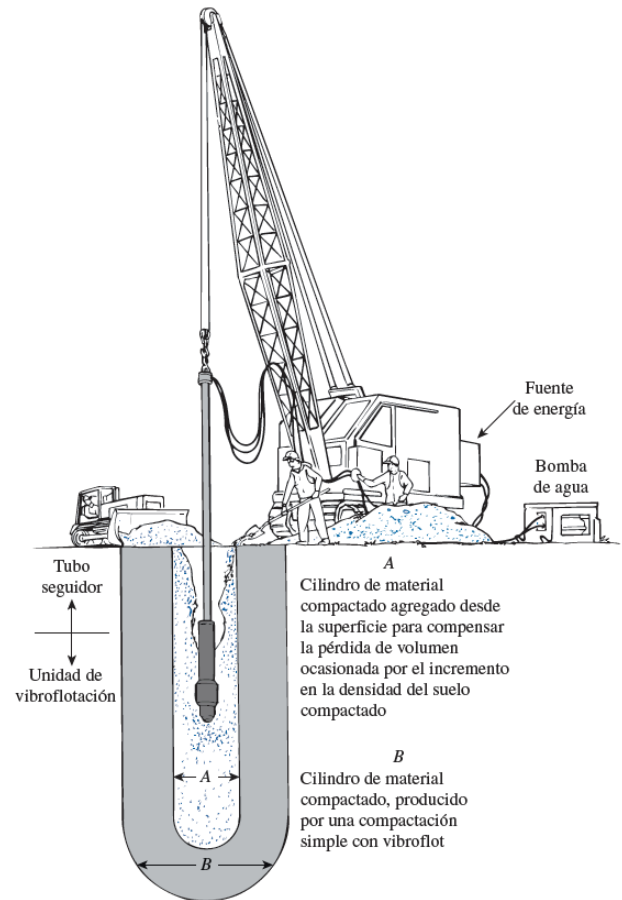


Figura 5. Unidad de vibroflotación. (Según Brown, 1977. Con permiso de la ASCE).

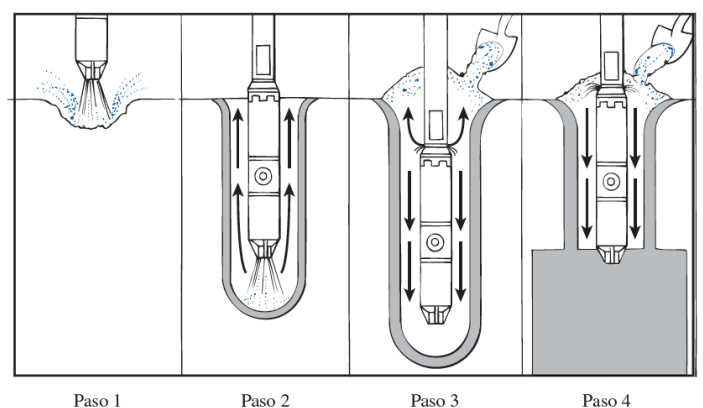


Figura 6. Compactación mediante el proceso de vibroflotación. (Según Brown, 1977. Con permiso de la ASCE).