

Ensayo Próctor estándar y Próctor modificado

Introducción

La prueba de laboratorio permite obtener la densidad y humedad de compactación que producen la máxima densidad posible en una muestra de un suelo determinado, para una cantidad de energía aplicada. La prueba más utilizada es la Prueba Próctor Estandar, para equipos de baja energía de compactación, o la Prueba Próctor Modificada, para equipos de compactación con mayor energía de compactación.

La energía de la prueba estándar es de $6 \text{ Kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^3$. El molde donde se coloca el suelo es un cilindro de 0.94 litros ($1/30 \text{ pies}^3$) de 10.2 cm de diámetro (4 pulgadas) y 11.7 cm (4.59 pulgadas) de altura. El pistón es de 2.5 Kg (5.5 libras) de peso y cae de una altura de 30.5 cm (12 pulgadas). Dentro el molde el suelo se coloca en tres capas que se compactan con 25 golpes repartidos en toda el área del cilindro, a cada capa.

En la prueba modificada, la energía de compactación es de $27.2 \text{ Kg} \cdot \text{cm} / \text{cm}^3$. Se conserva el número de golpes en cada capa, se aumenta el número de capas a cinco, se aumenta el peso del pistón y la altura de caída, ahora es de 4.5 Kg y 45.7 cm, respectivamente.

Próctor Estándar

Equipos



Horno marca QL



Cuchara

Tamiz
#4

Bandeja
metálica



Barra de acero



Un pisón metálico



Un molde de compactación



Probetas



Balanza de 29



Brocha de mano



Extractor de muestras



Charola metálica



Carreta para transportar el material



Balde metálico



Balanza de 500 gr

Procedimiento:

- **Paso 1:** Se obtiene por cuarteo una muestra representativa, previamente secada al sol y que según el método a usarse puede ser de 3, 7, 5 y 12 kilogramos



Paso 2: Se pesaron los cilindros y las latitas para las muestras de suelo.



Paso 3: Se llenaron las probetas con agua según el porcentaje con cual se trabaja.



Paso 4: Se tamizo la muestra de suelo con el tamiz #4 eliminando todo agente orgánico.



Paso 5: Se vertió el suelo que paso por el tamiz #4 en la balanza para obtener un peso de 3000Kg.



Paso 6: Se colocó la muestra de suelo pesada en la bandeja de aluminio, se satura el suelo con el porcentaje de humedad deseado. Se amasa el suelo con el agua.



Paso 7: La muestra preparada se coloca en el molde cilíndrico en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente $\frac{1}{3}$ de su altura y se compacta cada capa de la forma siguiente:

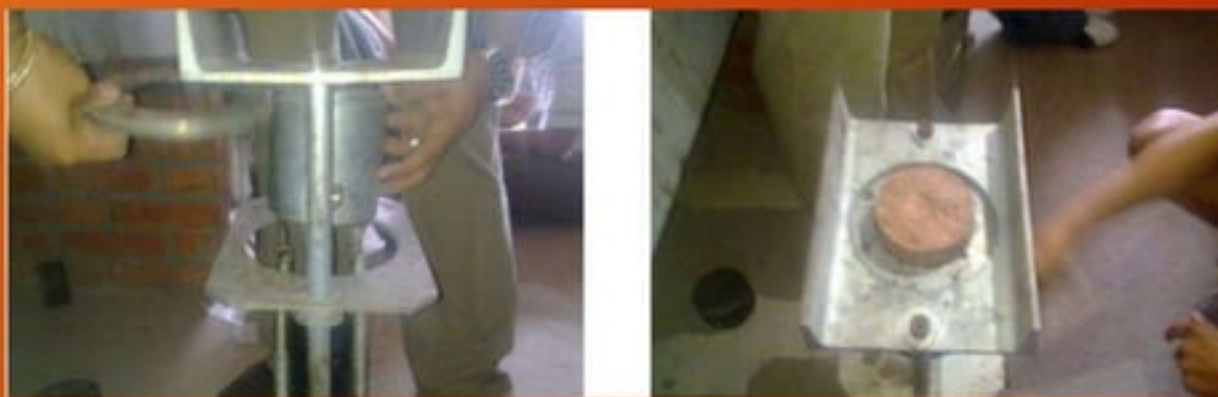
Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón (2.5 Kilogramos) hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 centímetros. Se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.



Paso 8: Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindro).



Paso 9: Se extrajo la muestra de suelo con la ayuda del extractor de muestras. Se procedió a partir la muestra por el centro para obtener una muestra del centro del suelo compactado luego se coloca en la latita y es pesada.



Paso 10: Se coloca la muestra al horno y se deja secar.



Paso 11: Repita los pasos del 1 al 10 con los porcentajes de humedad deseados hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá a la máxima densidad para una humedad óptima.

Datos obtenidos

No. Ensayo	1	2	3	4
% Humedad	8%	12%	10%	6%
No. Cilindro	#3	#5	#1	#2
Peso de Cilindro	4221	4210	4204	4213
Peso Suelo Húmedo + Cilindro (gr)	5955	5994	5968	5837
No. Lata	#98	#65	#310	#49
Peso Lata (gr)	15.02	15.24	15.29	15.14
Peso Lata + Suelo Húmedo (gr)	52.08	50.43	43.04	42.83
Peso Lata + Suelo Seco (gram)	47.48	45.38	39.34	39.91
Peso de Suelo Húmedo (gr)	1734	1784	1764	1624
Mezcla de Humedad	240	360	300	180

Cálculos

Peso volumétrico húmedo.

$$\gamma_h = \frac{W_m}{V_c} = \frac{W_{me} - W_e}{V_c}$$

Dónde:

γ_h = Peso volumétrico húmedo.

W_m = Peso de la muestra compactada.

W_e = Peso del molde cilíndrico

V_c = Volumen del cilindro

W_{me} = Peso de muestra compactada + Peso del Cilindro

Peso volumétrico seco.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + W}$$

Dónde:

γ_d = Peso volumétrico seco.

W = Contenido de humedad al tanto por uno.

Contenido Humedad (%)

$$\% = (W_w/W_s) * 100$$

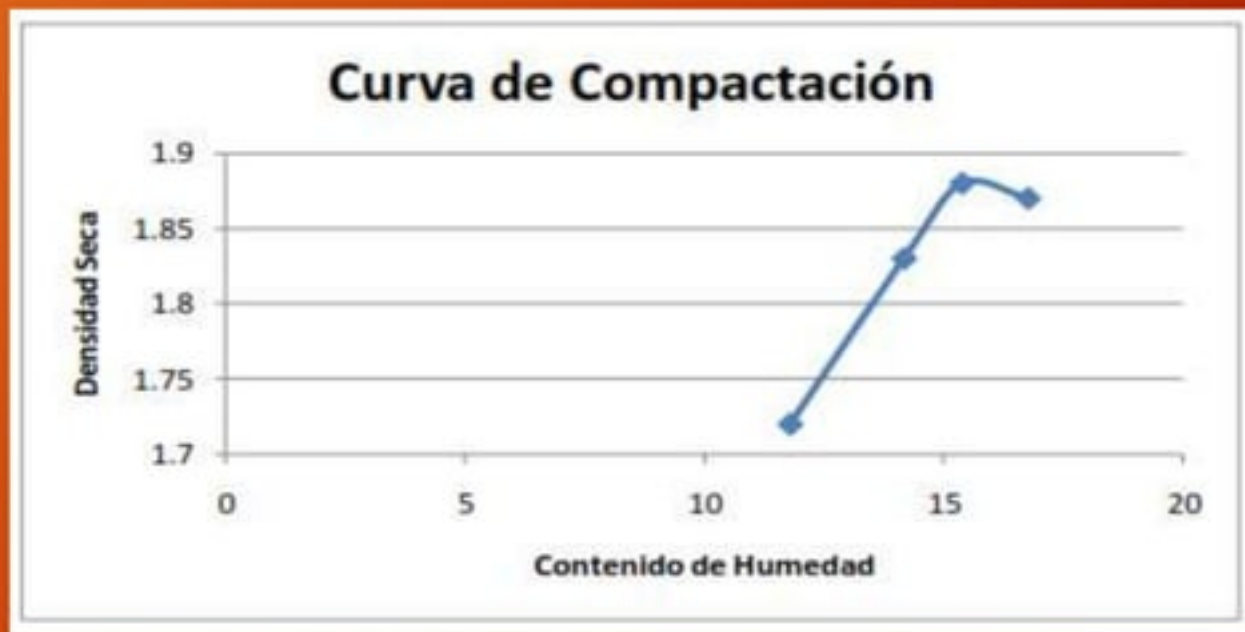
Dónde:

W_w = Peso del agua

W_s = Peso del suelo

No. Ensayo	1	2	3	4
Peso Suelo Compactado + Peso Cilindro (Wme)	5955	5994	5968	5837
Peso Cilindro (We)	4221	4210	4204	4213
Volumen de Cilindro (cm3)	943.3	943.3	943.3	943.3
Peso volumétrico Húmedo (γ_h)	1.838227499	1.891232906	1.87003074	1.7216156
Contenido de humedad al tanto por uno (W)	0.001417129	0.001675514	0.00153846	0.0011788
<u>Peso Volumétrico Seco (γ_d)</u>	1.835626181	1.888069419	1.86715819	1.7195884
<u>Contenido Humedad (%)</u>	14.17%	16.76%	15.38%	11.79%

Contenido de humedad (%)	Densidad seca (Peso volumétrico seco)
11.79	1.72
14.17	1.83
15.38	1.88
16.76	1.87



Especificaciones para el ensayo Próctor Estándar (basadas en la norma 698-91 de la ASTM)

Método	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm ³)	943.3	2124	943.3	2124
Peso de martillo o pisón (Kg)	2.5	2.5	2.5	2.5
Altura de caída del martillo (cm)	30.48	30.48	30.48	30.48
Numero de golpes del pisón por cada capa	25	56	25	56
Numero de Capas de compactación	3	3	3	3
Energía de Compactación (Kg*cm/cm ³)	6.06	6.03	6.06	6.03
Suelo por usarse Pasa por	100 % Tamiz No. 4	100 % Tamiz 3/8"	El 20% retiene No.4	Pasa 100 tamiz 3/4"

Método	Peso de Muestra
A	3 Kg
B	7 Kg
C	5 Kg
D	12 Kg

Próctor Modificado

Equipo de laboratorio



Horno marca QL



Bandeja metálica



Un Pisón Metálico



Barra de
Acero



Cilindro
metálico

Probetas



Balanza de
29 Kg



Brocha

Cucharon Metálico



Tamiz #4

Martillo de Hule



Balanza de
500 gr



Carreta para transportar el material



Balde metálico



Charola
metálica



Extractor de
muestras



Procedimiento

- **Paso 1:** Se obtiene por cuarteo una muestra representativa, previamente secada al sol y que según el método a usarse puede ser de 3, 7, 5 y 12 kilogramos.



Paso 2: Se pesaron los cilindros y las latitas para las muestras de suelo.



Paso 3: Se llenaron las probetas con agua según el porcentaje con cual se trabaja.



Paso 4: Se tamizo la muestra de suelo con el tamiz #4 eliminando toda agente orgánica.



Paso 5: Se vertió el suelo que paso por el tamiz #4 en la balanza para obtener un peso de 3000Kg.



Paso 6: Se colocó la muestra de suelo pesada en la bandeja de aluminio, se satura el suelo con el porcentaje de humedad deseado. Se amasa el suelo con el agua.



Paso 7: La muestra preparada se coloca en el molde cilíndrico en tres (3) capas, llenándose en cada capa aproximadamente $\frac{1}{3}$ de su altura y se compacta cada capa de la forma siguiente:

Se coloca el pistón de compactar con su guía, dentro del molde; se eleva el pistón (2.5 Kilogramos) hasta que alcance la parte superior y se suelta permitiendo que tenga una caída libre de 30 centímetros. Se cambia de posición la guía, se levanta y se deja caer nuevamente el pistón. Se repite el procedimiento cambiando de lugar la guía de manera que con 25 golpes se cubra la superficie. Esta operación de compactación se repite en las tres capas del material.



Paso 8: Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compactada anotando su peso. (Peso del material + cilindro).

Paso 9: Se extrajo la muestra de suelo con la ayuda del extractor de muestras y se enraza con la ayuda de una espátula. Se procedió a partir la muestra por el centro para obtener una muestra del centro del suelo compactado luego se coloca en la latita es pesada.



Paso 10: Se coloca la muestra al horno y se deja secar.



Paso 11: Repita los pasos del 1 al 10 con los porcentajes de humedad deseados hasta obtener un número de resultados que permitan trazar una curva cuya cúspide corresponderá a la máxima densidad para una humedad óptima

Datos obtenidos

No. Ensayo	1	2	3	4
% Humedad	6%	8%	10%	12%
No. Cilindro	1	2	3	4
Peso de Cilindro	6544	6562	6552	6533
Peso Suelo Húmedo + Cilindro (gram)	10889	10944	10949	10800
No. Lata	11	13	87	80
Peso Lata (gram)	15.18	15.13	15.3	15.21
Peso Lata + Suelo Húmedo (gram)	48	40.6	41.7	45.3
Peso Lata + Suelo Seco (gram)	44.15	37.36	37.74	40.42
Peso de Suelo Húmedo (gram)	4345	4382	4397	4267
Contenido Humedad	13.29%	14.57%	17.65%	19.36%
Mezcla de Humedad	300	400	500	600

Cálculos

Peso volumétrico húmedo.

$$\gamma_h = \frac{W_m}{V_c} = \frac{W_{me} - W_e}{V_c}$$

Dónde:

γ_h = Peso volumétrico húmedo.

W_m = Peso de la muestra compactada.

W_e = Peso del molde cilíndrico

V_c = Volumen del cilindro

W_{me} = Peso de muestra compactada + Peso del Cilindro

Peso volumétrico seco.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + W}$$

Dónde:

γ_d = Peso volumétrico seco.

W = Contenido de humedad al tanto por uno.

Contenido Humedad (%)

$$\% = (W_w/W_s) * 100$$

Dónde:

W_w = Peso del agua

W_s = Peso del suelo

No. Ensayo	1	2	3	4
Peso Suelo Compactado + Peso Cilindro(Wme)	10889	10944	10949	10800
Peso Cilindro (We)	6544	6562	6552	6533
Volumen de Cilindro (cm3)	943.3	943.3	943.3	943.3
Peso volumétrico Húmedo (gh)	4.606169829	4.64539383	4.6612954	4.5234814
Contenido de humedad al tanto por uno (W)	0.001328961	0.00145749	0.0017647	0.00193574
Peso Volumétrico Seco (gd)	4.600056534	4.638633069	4.6530841	4.51474203
Peso Específico de Suelo (SS)	2.43	2.43	2.43	2.43
Peso Específico del Agua (gw) (g/cm3)	1	1	1	1
Peso Volumétrico del Suelo Saturado (gdz)	2.42217787	2.42142404	2.4196240	2.4186231

% De humedad	Contenido de humedad (%)	Densidad seca (Peso volumétrico seco)
6 %	13.29%	4.60616983
8 %	14.57%	4.64539383
10 %	17.65%	4.66129545
12 %	19.36%	4.5234814



Especificaciones para el ensayo Próctor Modificado (basadas en la norma 698-91 de la ASTM)

Método	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm.)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm ³)	943.3	2124.0	943.3	2124.0
Peso de martillo o pisón (Kg.)	4.54	4.54	4.54	4.54
Altura de caída del martillo (cm.)	45.7	45.7	45.7	45.7
Numero de golpes del pisón por cada capa	25	56	25	56
Numero de Capas de compactación	5	5	5	5
Energía de Compactación (Kg.*cm./cm ³)	16.49	16.42	16.49	16.42
Suelo por usarse Pasa por	100% tamiz No.4	100% tamiz 3/8 "	El 20% retiene No.4	Pasa 100 tamiz ¾"

Método	Peso de Muestra
A	3 Kg.
B	7 Kg.
C	5 Kg.
D	12 Kg.

Energía de compactación

Es aquella energía que se entrega al suelo por unidad de volumen durante el proceso de compactación. Cuando esta se hace por impacto, la expresión mediante la cual se la obtiene es la siguiente:

$$\bullet E_e = \frac{NnWh}{V}$$

- Dónde:

Ee= Energía específica

N= número de golpes por capa

n= número de capa de suelos

W= peso del pistón

h= altura de caída del pistón

V= volumen del suelo compactado