

Unidad de Aprendizaje N°4

Control de calidad, en la compactación de suelos y hormigones frescos.

Aprendizajes Esperados

1. Control de calidad, en la compactación de suelos y hormigones frescos.

1.0 OBJETIVO.

El propósito de un ensayo de compactación en laboratorio es determinar la curva de compactación para una determinada energía de compactación. Esta curva considera en abscisas el contenido de humedad y en ordenadas la densidad seca. A partir de ella, se podrá obtener la humedad llamada óptima que es la que corresponde a la densidad máxima.

Con estos resultados se podrá determinar la cantidad de agua de amasado a usar cuando se compacta el suelo en terreno para obtener la máxima densidad seca para una determinada energía de compactación. Para cumplir este propósito, un ensayo de laboratorio debe considerar un tipo de compactación similar a la desarrollada en terreno con los equipos de compactación a especificar.

El agua juega un papel importante, especialmente en los suelos finos. Hay que hacer notar que cuando hablamos de suelos finos, no estamos refiriéndonos a suelos que contengan más de un 50% de finos, sino a la fracción fina que controla este comportamiento. Esta fracción fina, que puede ser para gravas sobre un 8% y para arenas sobre un 12% (Holtz 1973), lleva a limitar el uso de la densidad relativa y, por lo tanto, obliga a su reemplazo por el ensayo de compactación.

El agua en poca cantidad, se encuentra en forma capilar produciendo tensiones de compresión entre las partículas constituyentes del suelo que llevan a la formación de grumos difíciles de desintegrar y que terminan por dificultar la compactación. Mirado desde un punto de vista físico-químico, se produce una tendencia a la floculación entre las partículas arcillosas, lo que produce uniones entre partículas difíciles de romper. El aumento del contenido de humedad hace disminuir la tensión capilar – y a nivel físico-químico facilita la separación de las partículas haciendo que una misma energía de compactación produzca mejores resultados en el grado de consistencia del suelo, representado por un menor índice de vacíos y un mayor peso unitario seco.

Si por otra parte, el agua pasa a existir en una cantidad excesiva antes de iniciar la compactación, ella dificultará el desplazamiento de las partículas de suelo – debido a la baja permeabilidad del suelo y por ende a la dificultad de su eliminación - produciendo una disminución en la eficiencia de la compactación. En consecuencia, existirá para un determinado suelo fino y para una determinada energía de compactación, una humedad óptima para la cual esta energía de compactación producirá un material con densidad seca máxima.

Al compactar un suelo se persigue lo siguiente:

- (a) disminuir futuros asentamientos
- (b) aumentar la resistencia al corte
- (c) disminuir la permeabilidad

Para asegurar una compactación adecuada deben realizarse canchas de prueba en terreno que permitirán definir los equipos de compactación más adecuados para esos materiales, los espesores de capa y número de pasadas del equipo seleccionado para cumplir con las especificaciones técnicas de densidad seca.

El control de la obra final se realizará a través de determinaciones de los parámetros densidad seca y humedad de compactación de los rellenos colocados. Las especificaciones para la compactación en terreno exigen la obtención de una densidad mínima que es un porcentaje de la densidad máxima seca obtenida en el laboratorio.



2.0 ANTECEDENTES GENERALES.

En 1933, R.R. Proctor definió el ensayo conocido como Proctor Estándar, el cual consiste en tomar una muestra de 3 kg de suelo, pasarla por el tamiz # 4, agregarle agua cuando sea necesario, y compactar este suelo bien mezclado en un molde de 944 cm³ en tres capas con

25 golpes por capa de un martillo de compactación de 24.5 N con altura de caída de 0.305 m.

Esto proporciona una energía nominal de compactación de 593.7 kJ/m³.

Cuando el ensayo incluye el reuso del material, la muestra es removida del molde y se toman muestras para determinar el contenido de humedad para luego desmenuzarla hasta obtener grumos de tamaño máximo aproximado al tamiz # 4. Se procede entonces a agregar más agua, se mezcla y se procede a compactar nuevamente el suelo en el molde.

Esta secuencia se repite un número de veces suficiente para obtener los datos que permitan dibujar una curva de densidad seca versus contenido de humedad con un valor máximo en términos de densidad seca, y suficientes puntos a ambos lados de éste. La ordenada de este diagrama se conoce como la densidad máxima, y el contenido de humedad al cual se presenta esta densidad se denomina humedad óptima.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los nuevos y pesados equipos de aviación pasaron a exigir densidades de subrasante en las pistas de aeropuerto, mayores que el 100 % del Proctor Estándar.

Se introdujo entonces el ensayo de compactación modificado (Proctor Modificado, ensayo modificado AASHTO, o ensayo de compactación modificado) en el que se utiliza una mayor energía de compactación.

Las características básicas del ensayo son las mismas del ensayo estándar de compactación.

El ensayo de compactación modificado aplica una energía nominal de compactación al suelo de 2710 kJ/m³ lo que representa cerca de 5 veces la energía de compactación del ensayo estándar produciendo un incremento entre un 5 y un 10 % de la densidad y una disminución en la humedad óptima.

Toda curva de compactación estará siempre por debajo de la curva de saturación, $S = 100\%$ la que puede ser graficada en la curva de compactación una vez conocido el peso específico de los granos, G_s .

En el mismo gráfico se pueden incluir las curvas para $S = 90$ y 80% .

La curva $S = 100\%$ se obtiene calculando, para cualquier contenido de humedad w , su peso unitario seco:

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + w \cdot G_s}$$

Dónde:

G_s Densidad de las Partículas sólidas.

γ_w Peso específico del agua.

w Contenido de humedad.

La densidad seca la podemos expresar en función de la densidad húmeda y el contenido de humedad:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + w}$$

Donde:

γ_t Densidad húmeda

w contenido de humedad.

Las curvas para otros grados de saturación, pueden ser fácilmente calculadas.

3.0 Términos y definiciones

Energía modificada: termino para la energía de compactación aplicada de 2700 kN m/m^3 para la realización de este método de ensayo.

Densidad máxima compactada seca (ton/m^3) (kg/m^3): valor máximo definido por la curva de compactación de ensayo utilizando la energía modificada.

Contenido óptimo de humedad (%): contenido de humedad a la cual se produce la máxima densidad compactada seca utilizando una energía modificada

Fracción de sobre tamaño (%): Porción del total de la muestra no utilizada al realizar el ensayo de compactación, la cual puede corresponder a la fracción retenida en tamices $N^{\circ}4$, $3/8$ o $3/4$.

4.0 Aplicación.

- Este método es aplicable a suelos que tienen un 30% o menos del peso de sus particular retenidas en el tamiz de $3/4$

5.0 Equipos y accesorios.

- Molde de 100 cm. De diámetro nominal con una capacidad de $0.944 \pm 0.008 \text{ lt}$, con un diámetro interno de $101.6 \pm 0.4 \text{ mm}$. y una altura de $116.4 \pm 0.1 \text{ mm}$.



- Molde de 150 mm. De diámetro nominal con una capacidad de $2124 \pm 0.021 \text{ lt}$, con un diámetro interno de $152.4 \pm 0.1 \text{ mm}$.



- Pisón metálico de 50 ± 0.2 mm. De diámetro, con un peso de 2500 ± 10 g. Se ocupa en el método Standard.



- Pisón metálico de 50 ± 2 mm. De diámetro con un peso de 4.500 ± 10 g. Se ocupa en el método modificado.



- Probetas graduado con capacidad de 500 cm³ graduada a 2.5 cm³.



- Una balanza con una capacidad de 10 kg y una precisión de 5 g y otra con 1 kg de capacidad y una precisión de 0.1 g.



- Estufa



- Regla de acero de 300 mm. De largo,



- tamices de 50; 20 y 5 mm.



6.0 Procedimiento (Proctor Modificado).

Tamizar la muestra en los tamices N° 4, 3/8 y 3/4 dependiendo del método de ensayo escogido. Según sea el suelo fino o grueso preparar 5 porciones de 6 kilogramos cada una.

Preparar al menos cinco muestras con humedad que se distribuyan alrededor de la humedad óptima de compactación. En primer lugar se debe preparar una muestra con un contenido de humedad cercano al óptimo mediante la adición de agua y mezclado. Las humedades para el resto de las muestras se seleccionan de manera que estén dos por sobre la humedad óptima y dos bajo la humedad óptima, separadas dos puntos porcentuales entre sí. Existen algunos suelos que requieren de mayor porcentaje de humedad.

Según el método seleccionado usar 3 kg para método A o B y 6 kg para método C de material cortado en el tamiz indicado

Rocié la humedad aparente seleccionada mezcle para que el material este homogéneo, se debe curar cada muestra durante el tiempo necesario para que se mezclen las fases líquidas y sólidas

Tabla 2 - Tiempos de curado de las muestras previo a la compactación

Clasificación	Tiempo de espera mínimo h
GW, GP, SW, SP	No requiere
GM, SM	3
Otros suelos	16

Compactación

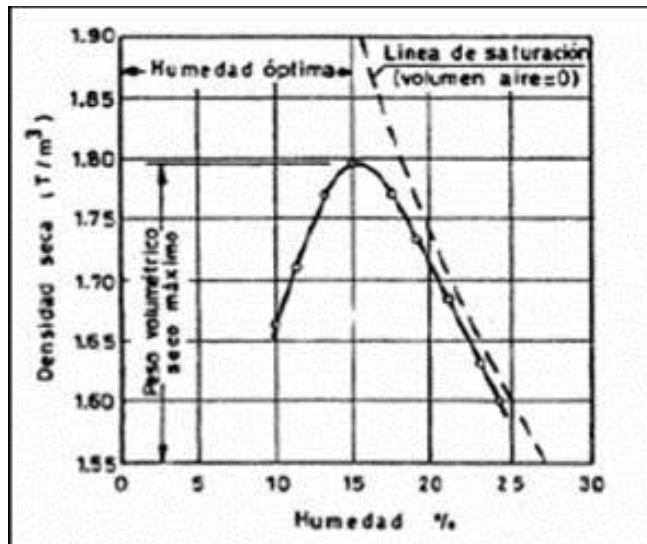
1. Disponga en el molde el material ya mezclado según sea el método empleado.
2. Método A y B 5 capas de 25 golpes e igual espesor
3. Método C 5 capas de 56 golpes e igual espesor
4. Tome una muestra representativa de 500 gr para determinar la humedad real
5. Compacte cada capa manteniendo el pisón vertical, sin levantar la guía tubular y dejándolo caer libremente este sobre el suelo.
6. Terminada la última capa, enrasar y determinar la masa del molde más la muestra de suelo.

Cálculos.

Calcular el peso unitario seco y hacer un gráfico de γ_d versus contenido de humedad.

Dibujar en este gráfico la curva de saturación; si no se conoce GS, suponer que la densidad saturada correspondiente a la humedad óptima es 5 % mayor que la densidad máxima seca; con este valor calcular el valor de GS; la curva de saturación en ningún caso debe intersectar la curva de compactación; en caso que esto suceda, incrementar en un 1 % adicional el valor de la densidad saturada hasta asegurar que la curva de saturación pase por sobre la de compactación.

Curva densidad humedad



	Características	Proctor normal	Proctor modificado
	Masa del pisón	2,5 Kgs. (5,5 Lb.)	4,5 Kgs. (10 Lb.)
Método	Altura de caída pisón	305 mm. (12")	460 mm. (18")
	Material	Bajo 5 mm. (N° 4)	Bajo 5 mm. (N° 4)
A	Molde	100 mm. (4")	100 mm. (4")
	N° de capas	3	5
	N° de golpes por capa	25	25
	Material	Bajo 5 mm. (N° 4)	Bajo 5 mm. (N° 4)
B	Molde	150 mm. (6")	150 mm. (6")
	N° de capas	3	5
	N° de golpes por capa	56	56
	Material	Bajo 20 mm. (¾")	Bajo 20 mm. (¾")
C	Molde	100 mm. (4")	100 mm. (4")
	N° de capas	3	5
	N° de golpes por capa	25	25
	Material	Bajo 20 mm. (¾")	Bajo 20 mm. (¾")
D	Molde	150 mm. (6")	150 mm. (6")
	N° de capas	3	5
	N° de golpes por capa	56	56

Molde	Método	Masa mínima de la muestra	Masa aproximada de la muestra con humedad natural a ser extraída en terreno
mm		g	g
100	A y B	16 000	23 000
150	C	31 000	45 000

Tabla 2 - Tiempos de curado de las muestras previo a la compactación

Clasificación	Tiempo de espera mínimo h
GW, GP, SW, SP	No requiere
GM, SM	3
Otros suelos	16

Calculos

Calcular la densidad húmeda (1), la densidad seca (2) como sigue:

$$\rho_m = \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (1)$$

en que:

- ρ_m = densidad húmeda de la probeta compactada, expresada en gramos por centímetro cúbico (g/cm³) y kilogramos por metro cúbico (kg/m³);
- M_t = masa húmeda de la probeta más el molde, expresada en gramos (g) y kilogramos (kg);
- M_{md} = masa del molde de compactación, expresada en gramos (g) y kilogramos (kg);
- V = volumen del molde de compactación, expresada en centímetros cúbicos (cm³) y metros cúbicos (m³).

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

en que:

- ρ_d = densidad seca de la probeta compactada, expresada en gramos por centímetro cúbico (g/cm³) y kilogramos por metro cúbico (kg/m³);
- w = contenido de humedad, expresado en porcentaje, (%).

Para calcular los puntos de la curva de saturación a graficar de las correspondientes densidades secas de la curva de compactación, utilizar la expresión siguiente:

$$w_{sat} = \frac{(\gamma_w) G_s - \gamma_d}{(\gamma_d) (G_s)} \times 100$$

en que:

w_{sat} = contenido de humedad de saturación, expresado en porcentaje (%);

γ_w = densidad del agua, 0,998 g/cm³ a 20°C, expresada en gramos por centímetros cúbicos (g/cm³) y kilogramos por metro cúbico (kg/m³);

γ_d = densidad seca del suelo, expresada en gramos por centímetros cúbicos (g/cm³) y kilogramos por metro cúbico (kg/m³);

G_s = peso específico del suelo.

G_s = peso específico del suelo.

5. OBSERVACIONES

a) Generalmente es deseable contar con una arena uniforme o de un solo tamaño para evitar problemas de segregación, de modo que con las condiciones de vaciado pueda lograrse la misma densidad, del suelo que se ensaya.

b) En el momento de ensayo en terreno, se debe evitar cualquier tipo de vibración en el área circundante, ya que esto puede provocar introducir un exceso de arena en el agujero.

c) En suelos en que predominan las partículas gruesas es recomendable determinar la humedad sobre el total del material extraído.

6. Otros métodos para determinar las densidades in situ

- Método con densímetro nuclear.
- Método del balón de caucho.
- Método del densímetro de membrana.
- Método del cono gigante.

7.0 Ficha de ensayo

		1	2	3
KILOMETRO				
CAPA O COTA				
LADO				
ESPESOR				
A	Densidad Arena de Ensayo (g/cm ³)			
B	Masa Suelo Humedo (g)			
C	Masa Arena (g)			
D	Masa de Arena Remanente (g)			
E	Masa Arena Embudo (g)			
F	Volumen Excavación (C-D-E)/A (cm ³)			
G	Densidad Humeda B/F (g/cm ³)			
H	Densidad Seca G/(1+(w/100)) (g/cm ³)			
I	DMCS (g/cm ³)			
J	% de Compactación 100*(H/I) (%)			
HUMEDAD				
K	Masa Cap. + Suelo Humedo (g)			
L	Masa Cap. + Suelo Seco (g)			
M	Masa Capsula (g)			
	Masa Agua (K-L) (g)			
N	Masa Suelo Seco (L-M) (g)			
W	Humedad 100*(K-L)/N (%)			

8.0 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.

8.1 Control de densidad in situ (En terreno)

1. Seleccione el lugar de ensayo.
2. Limpie la superficie y empareje de ser necesario
3. Asiente la placa
4. Perfore el agujero desde en el interior de la placa
5. Limpie con brocha y retire el material, guárdelo en el envase o bolsa y determine su masa
6. Cierre la válvula y llene el cono con arena previa calibrada y registre su masa
7. Dispóngalo sobre la placa y abra la válvula
8. Espere hasta que la arena deje de caer y cierre la válvula
9. Levante el cono y registre su masa.
10. Recupere la arena en la excavación.
11. Calcule la densidad húmeda de terreno

9.0 Autoevaluación de la actividad (1 a 7)

- Disposición al trabajo en equipo
- Actitud frente al grupo
- Realizo trabajo físico
- Realizo trabajo intelectual
- Se motivó con la actividad
- Evaluación Nota final

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Delgado V, Manuel Ingeniería de Cimentaciones México, Alfa Omega Editorial, 1998
- Bowles E, Joseph Manual de Laboratorio de Suelos e Ingeniería Civil México, Editorial Mc Graw-hill ,1985
- Guzmán Euclides Manual de edificación Santiago, Editorial Universitaria , 1995
- Berry, Peter. Y Reid, David Mecánica de Suelos. Colombia, Editorial Mc Graw-Hill, 1993.
- Terzaghi, Karl. Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica. Barcelona, Editorial “El Ateneo”, 1980.
- M.O.P. Especificaciones y métodos de muestreo y ensayo de la dirección de vialidad.
- INN, NCh 1515, Determinación del Contenido de Humedad.
- INN, NCh 1534/1 Of 1979, Proctor Normal.
- INN, NCh 1534/2 Of 1979, Proctor Modificado.
- http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/relacion_de_humedad_humedad.pdf