

GEOTECNIA. TERRAPLEN DE PRUEBA

Geotechnics. Embankment performance

ICS: 93.020

1. Edición

Marzo 2002

REPRODUCCION PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.
Teléf.: 830-0835 Fax: (537) 33-8048 E-mail: nc@ncnorma.cu

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La preparación de las Normas Cubanas se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. La aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en evidencias de consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 20 de Geotecnia integrado por las siguientes instituciones:
 - Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
 - Ministerio de la Construcción
 - Ministerio de la Industria Ligera
 - Ministerio de la Industria Básica
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
 - Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”
 - Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos
 - Oficina Nacional de Normalización
- Tiene como base en su elaboración documentos utilizados en la práctica docente universitaria nacional y algunos otros documentos de carácter internacional, además de las experiencias prácticas nacionales.
- Sustituye a la NC 54-144:78 Suelos. Ejecución de terraplenes de prueba.
- Consta de Anexos A, B y C, informativos.

© NC, 2002

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por alguna forma o medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias o microfilmes, sin el permiso previo escrito de:

**Oficina Nacional de Normalización (NC).
Calle E No. 261 Ciudad de La Habana, Habana 3. Cuba.**

Impreso en Cuba

Indice

1 Objeto	1
2 Referencias normativas.....	1
3 Términos y definiciones.....	1
4 Equipamiento	1
5 Procedimiento	2
6 Expresión de los resultados	4
7 Informe de los resultados	5
ANEXOS	
A (informativo) Espesores mínimos de capa suelta utilizados según tipo y peso del compactador...6	
B (informativo) Croquis para ejecución de los terraplenes de prueba.....	7
C (informativo) Gráfico de Porcentaje de Compactación versus Número de pasadas.....	8
Bibliografía	9

GEOTECNIA. TERRAPLEN DE PRUEBA

1 Objeto

Esta norma establece el procedimiento para determinar el régimen óptimo de trabajo del equipo de compactación en los suelos procedentes de una zona de préstamo o similar, para las condiciones de una obra dada, determinando el espesor de capa y el número de pasadas más eficiente del compactador utilizado, teniendo en cuenta los elementos que favorecen la organización y el uso tecnológico de los equipos utilizados.

2 Referencias normativas

Las siguientes Normas contienen disposiciones que, al ser citadas en este texto, constituyen disposiciones de esta Norma Cubana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda Norma está sujeta a revisiones, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos sobre la base de ellas, que analicen la conveniencia de usar ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente. La Oficina Nacional de Normalización posee en todo momento la información de las normas internacionales, regionales y cubanas en vigencia.

NC 54-140:86 Suelos. Determinación de la humedad "in situ"

NC 60:2000 Geotecnia. Métodos de ensayo para la determinación del peso específico de la masa del suelo in situ.

3 Términos y definiciones

3.1 Terraplén de Prueba

Es una obra de movimiento de tierra que se realiza como parte de la investigación geotécnica del suelo como material de construcción, con la finalidad de conocer los parámetros de compactación más eficientes de un suelo, de acuerdo con las características de un compactador determinado y las condiciones de trabajo del suelo.

4 Equipamiento

- Equipos de construcción requeridos:
 - bulldozer
 - cargador frontal
 - camiones
 - motoniveladora con escarificador
 - grada de discos o garfios
 - pipa de agua
 - cuando se utilizan mototraíllas, no se hace necesario utilizar buldozer, camión, ni cargador.
- Equipamiento de laboratorio requerido en cada una de las normas referenciadas.

5 Procedimiento

5.1 Aprobación del material a emplear

El técnico comprobará si el material a utilizar corresponde, según sus características de compactación, con el aprobado por el proyecto de la obra. Para ello se tomarán varias muestras de la zona de préstamo o donde esté ubicado el material, con vistas a determinar las siguientes características:

- Humedad natural del suelo (ω).
- Humedad óptima para la energía de compactación seleccionada (ω_o).
- Peso específico seco máximo para la energía de compactación seleccionada ($\gamma_{d(max)}$).

Se incluyen un rango de valores y el promedio, representativo de cada tipo de suelo utilizado.

5.2 Preparación previa del trabajo

5.2.1 Se verifican los parámetros del equipo de compactación según las especificaciones del fabricante y en caso del compactador neumático es fundamental calcular el peso específico húmedo de la arena utilizada como lastre, exigiendo que se humedezca cada día al amanecer y si existe mucha evaporación, también al medio día, para conocer la masa real o masa bruta del compactador neumático, que es la masa neta del equipo vacío más el lastre de suelo utilizado en su llenado. También es necesario verificar la presión de inflado de los neumáticos del compactador cada cierto tiempo, la cual debe ser de alrededor de 80 lb/pulg² a 100 lb/pulg² o sea aproximadamente de 5.6 kg/cm² a 7 kg/cm² en cada neumático.

5.2.2 Se escoge el área de trabajo, preferentemente dentro de la obra, con dimensiones mínimas de 10 m x 50 m para ejecutar los terraplenes de prueba requeridos, seleccionándose uno o varios espesores de capa suelta según el caso y teniendo en cuenta los espesores mínimos planteados en el Anexo A (informativo).

5.2.3 La base o fundamento del terraplén será de suelo poco compresible y sin materia orgánica, teniendo que ser nivelado y bien compactado previamente, de manera que el compactador no deje huellas visibles en el suelo.

NOTA 1: En dependencia del rango de humedad natural y el valor de humedad óptimo representativo se definirá si el suelo requiere un tratamiento previo de secado o riego de agua para utilizarlo, o se utiliza directamente por ser semejantes los valores de humedad natural a los de la humedad de trabajo requeridos, teniendo en cuenta la pérdida de humedad por explotación, transportación y tendido del material en el terraplén.

NOTA 2: Es importante conocer la pérdida de humedad del suelo en la práctica, aunque como guía técnica inicial se utiliza generalmente en suelos arcillosos (1% - 2%) y en suelos arenosos (2%-3%).

NOTA 3: En caso de que existan diferencias notables entre los parámetros de compactación de la humedad (ω), la humedad óptima (ω_o) y el peso específico seco máximo

(γ_d (máx.)) de la investigación y las obtenidas en la verificación, es necesario que el Investigador defina la estrategia a seguir, siendo la mejor, el chequeo de las propiedades físicas de los suelos en el préstamo.

5.3 Ejecución del terraplén de prueba

5.3.1 Se inicia la explotación del préstamo, incluyendo la transportación del material y su colocación en la zona seleccionada para el terraplén.

5.3.2 El material se colocará en pilas y será tendido mediante motoniveladora, de acuerdo al espesor de capa suelta deseado, hasta cubrir toda el área de prueba.

5.3.3 Una vez extendido y nivelado el suelo en toda el área del terraplén, se verificará la humedad del suelo mediante un método rápido de la determinación de la humedad ya sea el método establecido según la NC 54-140:86, mediante el Speedy o el equipo de isótopo radiactivo, realizando un mínimo de 5 ensayos, de manera que si falta humedad le sea añadida el agua requerida o si tiene exceso de humedad sea secado mediante escarificación y movimiento del material expuesto al aire y al sol.

5.3.4 El espesor de capa suelta establecido se garantizará introduciendo una varilla metálica graduada en diferentes lugares del terraplén, no menos de 3 lugares por cada sección o área de cada ciclo de pasadas del compactador. Otro método puede ser mediante un cordel de nylon estirado a una altura previamente indicada en diferentes estacas de madera ubicadas a ambos lados del terraplén.

5.3.5 Se indicará el límite de las diferentes secciones del terraplén mediante estacas de madera ubicadas en ambos lados del mismo (véase el Anexo B, informativo), utilizándose generalmente la secuencia de (2-4-8-12-16) pasadas del compactador en cada sección, permitiéndose eliminar la primera y/o la última sección, en dependencia del tipo de compactador utilizado.

5.3.6 La velocidad del compactador será de 5 km/h que es aproximadamente 1m/seg para poder obtener buena efectividad en la energía de compactación.

5.3.7 Se iniciará la compactación con el equipo seleccionado a partir de un extremo del terraplén y desde uno de los bordes, en línea recta hacia el extremo opuesto, retornando en marcha atrás durante la siguiente pasada, de manera que el desplazamiento del compactador sea entre 1/3 y 1/4 del ancho del compactador, o sea, de solape entre una pasada y la otra; entendiéndose como una pasada el tránsito del equipo en un solo sentido.

5.3.8 Este proceso se continúa en todo el área del terraplén correspondiente a la primera sección de pasadas, de manera que después de concluida la misma, el compactador dejará de trabajar en dicha sección, ubicada al final del terraplén y así consecutivamente, de modo que van quedando terminadas las primeras secciones desde el final del terraplén y se continúa en las otras secciones, terminando por el inicio del terraplén que corresponde con la sección de mayor número de pasadas (Véase el Anexo B, informativo).

5.3.9 De cada préstamo o zona de explotación y para cada tipo de suelo se ejecutarán los espesores de capa suelta requeridos según las características de la obra, de modo que permita una

mejor evaluación para definir los parámetros del espesor de la capa suelta y el número de pasadas del compactador más eficiente desde el punto de vista técnico y económico, pudiendo utilizar como guía los valores mínimos aproximados planteados en el Anexo A (informativo).

5.4 Pruebas de control en el Terraplén

5.4.1 Se realizarán pruebas de humedad y peso específico de la masa de suelo al final de cada ciclo de pasadas del compactador, determinándose como criterio de ubicación de dichas pruebas el de perfiles diagonales o en forma de tres bolillos, creando perfiles en diagonal al eje de la obra, con un mínimo de 5 muestras por sección, teniendo que incrementarse hasta un máximo de 9 muestras cuando el suelo es heterogéneo.

5.4.2 Para la determinación del peso específico de la masa del suelo húmedo in situ se utilizarán los métodos conocidos según la NC 60:2000, de manera que abarque no menos de las 2/3 partes del espesor de la capa compactada.

6 Expresión de los resultados

6.1 Se analizarán los resultados obtenidos en cada una de las secciones con igual número de pasadas del terraplén de prueba para un espesor de capa suelta determinado, obteniendo los valores estadísticos promedio de la humedad (ω), el peso específico de la masa húmeda (γ_f) y el peso específico de la masa seca (γ_d) del suelo para cada sección.

6.2 Se determinará el grado de compactación obtenido en cada sección de pasadas del compactador con relación al peso específico de la masa seca máxima del material utilizado, por la siguiente expresión:

$$\text{Grado de compactación} = \frac{\gamma_d \text{ del terraplén}}{\gamma_{d \text{ max}} \text{ de investigación}} \times 100 \quad (\%)$$

donde:

γ_d del terraplén es el peso específico seco de la masa del suelo en el terraplén, en kilonewton por metro cúbico;

γ_d max de investigación es el peso específico seco del suelo determinado según el ensayo Proctor, en kilonewton por metro cúbico.

6.3 Por cada terraplén con determinado espesor de capa se realizará un gráfico aritmético de 2 ejes perpendiculares, de modo que en el eje de las abscisas se coloca el número de pasadas del compactador y en el eje de las ordenadas, los porcentajes de compactación obtenidos en cada ciclo o sección de pasada (véase el Anexo C, informativo).

6.4 Las curvas resultantes de unir los puntos planteados anteriormente, presentarán concavidad hacia abajo, pues a mayor número de pasadas la curva tiende a acercarse a una estabilización horizontal.

6.5 Se establecen comparaciones entre las curvas obtenidas para cada espesor de capa suelta, seleccionando como solución más favorable la que corresponda al número de pasadas menor alcanzando el 100% de compactación, siempre y cuando la diferencia entre los espesores de capa suelta no sea generalmente mayor de 5 cm y el espesor seleccionado sea igual o mayor de 15 cm.

6.6 En caso de que la diferencia entre los espesores de capa suelta sean mayores de 5 cm o el espesor seleccionado sea menor de 15 cm, se hace necesario un análisis técnico y económico más riguroso, teniendo en cuenta la forma en que se alcanza el 100% de compactación según la curva de números de pasadas en el eje de las abscisas versus peso específico de la masa seca (γ_d) alcanzado en el eje de las ordenadas y el cálculo de volumen de material compactado en una jornada de trabajo utilizando un solo compactador, pues una curva menos cóncava denota una mayor efectividad de compactación y es preferible su selección siempre y cuando el volumen de material compactado no tenga una notable diferencia en comparación con el otro espesor de capa analizado.

7 Informe de los resultados

7.1 Se plantea la ubicación del préstamo utilizado con relación a la obra en cuestión, adjuntando un mapa o croquis de la zona, donde se refleje la distancia y estado del camino a recorrer para el traslado de los materiales.

7.2 Se plantea las características de los suelos empleados, acorde con la investigación previa del préstamo, los obtenidos en su verificación para su explotación y los valores representativos seleccionados para el 100% de compactación, incluyendo la humedad de trabajo exigida.

7.3 Metodología tecnológica utilizada para la ejecución de los terraplenes de prueba, incluyendo los métodos utilizados para obtener los valores de peso específico húmedo de la masa de suelo (γ_t), peso específico seco de la masa de suelo (γ_d) y la humedad (ω).

7.4 Resultado del trabajo obtenido en cada análisis de prueba ejecutado, detallando los valores promedios en cada sección o ciclo de pasadas del compactador para cada espesor de capa suelta utilizado y análisis de los gráficos requeridos para seleccionar los mejores parámetros de eficiencia técnico – económica (espesor de capa suelta y número de pasadas del compactador fundamentalmente).

7.5 Recomendación respecto a la metodología de trabajo a establecer en la obra para mantener las características de los materiales o suelos utilizados, tales como: humedad del suelo, rango granulométrico o de plasticidad del suelo y verificación de las mismas cada determinado volumen de material utilizado.

7.6 Definir si el compactador utilizado resultó eficiente, donde en caso negativo se requiere una argumentación al respecto y la propuesta del compactador adecuado.

7.7 Recomendación del método de compactación y control a emplear según el tipo de suelo y su conveniencia productiva, a partir de los criterios fundamentales emitidos en el presente informe.

Anexo A
(informativo)

Espesores mínimos de capa suelta utilizados según tipo y peso del compactador

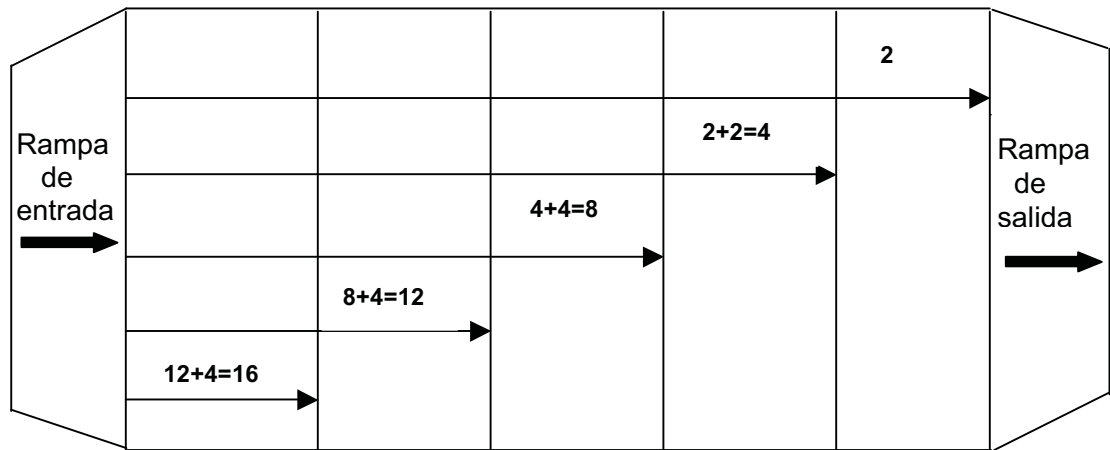
Tipo de Compactador	Neumáticos				Vibratorios				Lisos metálicos			Pata de cabra			
Peso bruto (Ton)	20	30	40	50	4	8	12	16	6	10	14	4	8	12	16
Tipo de suelo utilizado	Espesores mínimos de capa suelta de suelo (cm)														
Arcillas	12	15	18	20	No se utiliza				10	12	15	15	18	20	25
Arcillas arenosas con gravas	17	20	24	28					12	15	18	17	20	24	28
Arenas	12	15	18	20	15	20	25	30	12	15	18	No se utiliza			
Gravas con suelo fino	17	20	24	28	20	25	30	40	15	18	21				
Gravas	15	18	21	25	20	30	40	50	12	15	18				

Anexo B
(normativo)

Croquis para ejecución de los terraplenes de prueba

Estaquillado
de madera →

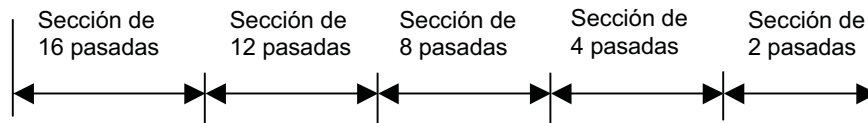
0 0 0 0 0 0



Estaquillado

de madera →

0 0 0 0 0 0



Observaciones:

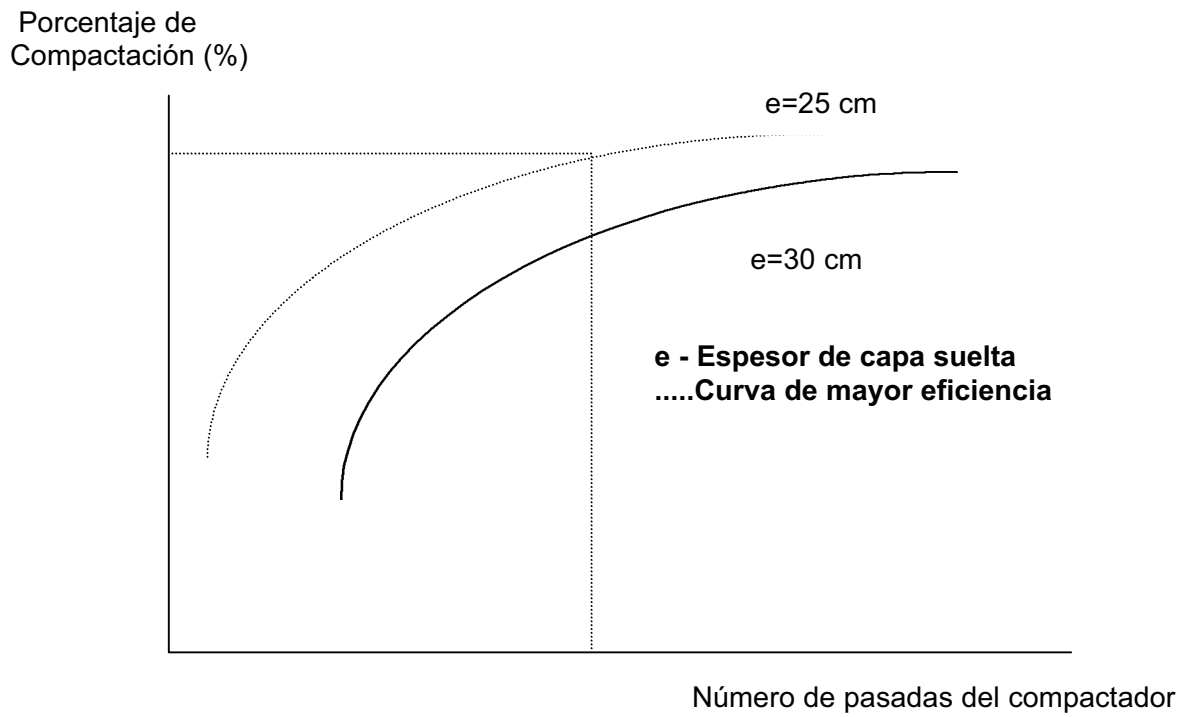
La longitud mínima de cada sección es de 5 m.

El ancho del terraplén compactado es seleccionado por el Investigador.

Se realizan rampas al inicio y al final del terraplén para ofrecer movilidad de los equipos de construcción requeridos.

Anexo C
(informativo)

Gráfico de Porcentaje de Compactación versus Número de pasadas



Bibliografía

Juárez Badillo Eulalio y Rico Rodriguez A. Mecánica de suelos, Tomo I - 1961

Fco. Arredondo, Fco Gimenez, José A. Jimenez, Olegario Llamazares, Gonzalo Navecenada y Mariano Sendin- Compactación de terrenos, Terraplenes y pedraplenes, 1974

George B. Sowers y George F. Sowers, Introducción a la Mecánica de Suelos y cimentaciones, 1975

Cuerpo de Ingenieros. Denver – Colorado. Diseño de Presas Pequeñas - 1972