

**ENSAYO CUALITATIVO SIMPLIFICADO PARA ESTIMAR EL NIVEL
DE COMPACTACION DE RELLENOS ARTIFICIALES EMPLEANDO
MACETA & PUNTERO**

**FREDY SAMUEL RONDON MORA
DIANA ROCIO ROJAS MENDOZA**

**CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT
2008**

**ENSAYO CUALITATIVO SIMPLIFICADO PARA ESTIMAR EL NIVEL
DE COMPACTACION DE RELLENOS ARTIFICIALES EMPLEANDO
MACETA & PUNTERO**

**DIANA ROCIO ROJAS MENDOZA
FREDY SAMUEL RONDON MORA**

**Proyecto de grado para optar el titulo de
Ingeniero Civil**

**Director
RAMON SEPULVEDA
Ingeniero Civil**

**CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT
2008**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	7
CAPITULO 1. ANTECEDENTES Y MARCO CONTEXTUAL	11
1.1 Métodos de mejoramiento de suelos	11
1.2 Marco legal en la construcción de vías	13
1.3 ENSAYOS DE COMPACTACION EN LABORATORIOS	15
1.31 Prueba proctor estándar o relaciones de peso unitario humedad en los suelos, equipo normal I.N.V.E – 141.	15
1.3.1.2 Observación del proctor estándar o relaciones de peso unitario humedad en los suelos, equipo normal I.N.V.E – 141.	17
1.3.2 Ensayo Proctor Modificado O Relaciones De Peso Unitario- Humedad En Los Suelos Equipo Modificado I.N.V. E - 142	17
1.3.2.1 Observaciones Del Ensayo Proctor Modificado O Relaciones De Peso Unitario-Humedad En Los Suelos Equipo Modificado I.N.V. E – 142	19
1.3.3 Determinación de la capacidad de soporte cbr del suelo. (California Bering ratio)	20
1.3.3.1 Equipo	21
1.3.3.2 Valor De La Relación De Soporte (Índice Resistente CBR).	22
1.3.3.3 Valores referenciales de cbr, usos y suelos.	23

1.3.3.4 Factores que afectan la determinación de la capacidad de soporte cbr del suelo. (California bearing ratio)	24
1.4. MEDICION DE LA COMPACTACIÓN EN CAMPO	25
1.4.1 Relación de soporte del suelo en el terreno (cbr "in situ") i.n.v. e - 169	26
1.4.1.1 Equipo	26
1.4.1.2 Procedimiento	29
1.4.1.3 Cálculos	32
1.4.2 PENETROMETRO DINÁMICO DE CONO I.N.V. E - 172	36
1.4.2.1 Equipo:	36
1.4.2.2 Procedimiento:	37
1.4.2.3 Evaluación De Los Resultados Del Ensayo Pdc	41
1.4.2.4 Observaciones Del Penetrometro Dinámico De Cono I.N.V. E – 172	43
1.4.3 PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA I.N.V. E - 161	44
1.4.3.1 Equipo	44
1.4.3.2 Procedimiento	46
1.4.3.3 Observaciones Peso Unitario Del Suelo En El Terreno Método Del Cono De Arena I.N.V. E - 161	49
1.4.4 PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO	51

MÉTODO DEL BALON DE CAUCHO I.N.V. E -	162
1.4.4.1 Equipo	51
1.4.4.2 Observación Del Peso Unitario Del Suelo En El Terreno Método Del Balón De Caucho I.N.V. E -	55
162	
1.4.5 PESO UNITARIO DEL SUELO Y DEL SUELO- AGREGADO EN EL TERRENO MEDIANTE MÉTODOS NUCLEARES (PROFUNDIDAD REDUCIDA) I.N.V. E -	56
164	
1.4.5.1 Métodos de ensayo	59
1.4.5.2 Especificaciones del sistema	64
1.4.5.3 Equipo	67
1.4.5.4 Normalización	69
1.4.5.5 Determinación Del Peso Unitario Seco	70
1.4.5.6 Observaciones del peso unitario del suelo y del suelo-agregado en el terreno mediante métodos nucleares (profundidad reducida) i.n.v. e –	72
164	
CAPITULO 2. EVALUCION DEL NIVEL DE COMPACTACION DE RELLENOS ARTIFICIALES EMPLEANDO MACETA & PUNTERO	74
2.1 CARACTERISTICAS DEL PUNTERO & MACETA	75
2.2 Partes del Equipo	78
2.3 Pastes del equipo	78
2.3.1 Puntero	78

2.3.2 Maceta o Almadena	82
2.4 Instrumentos de medida	82
2.5 PROCEDIMIENTO OPERATORIO.	86
2.6 FINALIZACIÓN DE LA PRUEBA.	86
2.7 El campo de aplicación.	87
2.8 METODOLOGIA	87
2.8.1 DESARROLLO METODOLOGICO	87
2.9 FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO PUNTERO & MACETA	
3.0 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE ENSAYOS REALIZADOS CON EQUIPO MACETA PUNTERO Y PENETROMETRO CONO DINAMICO	
4.0 RESULTADOS DEL LOS ENSAYOS REALIZADOS AL MATERIAL	
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCIÓN

El control de calidad durante la construcción de rellenos artificiales es indiscutible, la durabilidad de la obra se basa en el hecho que los materiales, los procesos constructivos cumplan requisitos técnicos debidamente definidos y que exista un sistema de inspección, muestreo y ensayos que verifique los procesos realizados en obra.

El Ingeniero en Obra se encarga de verificar que dichos ensayos se ejecuten, por lo tanto, esperamos que con este ensayo cualitativo de campo, permita evaluar el nivel de compactación de rellenos artificiales, de manera sencilla y de fácil uso garantizando que el procedimiento mide la resistencia a la penetración de la base granular en la que se aplica.

Por otro lado, se realizaron trabajos de campo con el laboratorio y con dos equipos estándar actualmente empleados en el país para los mismos fines y comparándolos mostrando que los datos obtenidos son consecuentes y que corresponden a la realidad del comportamiento de la estructura del relleno, teniendo así la certeza que el procedimiento del laboratorio es una opción que se puede implementar en las diferentes obras que requieran ensayos de este tipo y que arroje datos

representativos que aporten a la toma de decisiones en el campo siendo así un laboratorio confiable.

La importancia de este trabajo se puede plantear desde dos puntos de vista fundamentales:

- ≈ Desde el punto de vista académico, satisfacer la necesidad de incentivar los procesos de investigación en la comunidad académica del programa de Ingeniería Civil, para desarrollar investigación de construcción de conocimiento, propia, que permitan a los estudiantes la realización de ensayos como parte fundamental y complementaria del programa de estudio.

- ≈ Desde el punto de vista de aplicación práctica, propender por el desarrollo de nuevas pruebas en el campo, simplificadas y de amplia cobertura potencial, a realizarse con equipo básico de una obra y con un costo inferior con respecto a los ensayos formales. En ningún momento pretendemos poner en tela de juicio la fiabilidad de estos ensayos ni mucho menos su sustitución o reemplazo, sino precisamente la posibilidad de disponer de un método de prueba preliminar que permita detectar problemas en obra, antes de programar ensayos formales definitivos.

Contar con un equipo de esta naturaleza conlleva en beneficios tanto para la comunidad estudiantil como para la universidad, dado que los estudiantes tendrán a su disposición un equipo de fácil acceso para la realización de sus ensayos y el análisis de una manera sencilla y lógica de los resultados.

Como objetivo general de este trabajo es: “Desarrollar un ensayo cualitativo simplificado para medir el nivel de compactación de rellenos artificiales, usando puntero y maceta”

Los objetivos específicos son:

- Diseñar y construir el laboratorio MACETA PUNTERO con el que se realizara las mediciones de la compactación del relleno artificial construido en campo.
- Realizar los ensayos de medida de compactación de rellenos mejorados en campo tanto con nuestro equipo como con el ensayo de Penetrómetro Cono Dinámico y el Densímetro Nuclear.
- Realizar tablas comparativas donde se demuestre el nivel de correlación entre el ensayo cualitativo propuesto y los ensayos formales convencionales.

- Entregar junto con el equipo, las recomendaciones técnicas, mantenimiento, manipulación y uso en campo así como el procedimiento previo.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES Y MARCO CONTEXTUAL

En construcción de vías terrestres, al compactar un suelo se mejora el comportamiento de las siguientes características del relleno:

- La deformabilidad, disminuyendo la compresibilidad e incrementando su estabilidad volumétrica, especialmente ante la absorción o pérdida de agua.
- La resistencia, especialmente al esfuerzo cortante, donde la relación esfuerzo-deformación garantiza un balance del comportamiento.

1.1 Métodos de mejoramientos de suelos

- **FISICOS:**
 - ≈ **Confinamiento (Suelos Friccionantes)**
 - ≈ **Consolidación Previa (Suelos Finos)**
 - ≈ **Mezclas (Suelo con Suelo)**
 - ≈ **Vibro flotación**

- **QUIMICOS (ESTABILIZACION)**

- ≈ **Con Cal**
- ≈ **Con Cemento**
- ≈ **Con Asfalto**
- ≈ **Con Otras Sustancias**

- **MECANICOS**

- ≈ **Compactación**

Se podría definir la compactación mecánica como un procedimiento artificial de consolidar un terreno, mediante la expulsión del aire existente entre sus partículas, haciendo que las mismas estén lo más próximas posibles, el método de mejoramiento mecánico es uno de los más usados en campo, se pueden utilizar distintos equipos, cada uno se escoge de acuerdo a las características del terreno a compactar a fin de obtener mejores resultados que sea posible.

En la actualidad los métodos utilizados se clasifican en:

- -Por amasado
- -Por presión
- -Por impacto
- -Por vibración

- -Por métodos mixtos

Dentro de las anteriores categorías caben todas las soluciones comerciales e industriales que hasta el momento se han desarrollado para resolver el problema.

Los tres primeros tipos de compactadores se presentan bajo la forma de rodillos que circulan sobre el terreno que se desea compactar.

1.2 MARCO LEGAL EN LA CONTRUCCIÓN DE VIAS

En la construcción de vías se utiliza pavimento rígido, pavimento flexible o articulado. Determinar que tipo de material usar depende de estudios pre-liminares y ensayos en laboratorio como: Proctor Estándar o Relaciones de peso unitario –humedad en los suelos, equipo normal I.N.V. E – 141¹, Proctor modificado o Relaciones de Peso Unitario-Humedad en los suelos, Equipo Modificado I.N.V. E – 142¹, Relación de Soporte del Suelo en el Laboratorio (C.B.R. de laboratorio) I.N.V. E – 148¹, Determinación de la Resistencia al corte directo consolidado Drenado I.N.V. E – 154¹, donde se determina los espesores de las capas que componen la estructura y el proceso constructivo a seguir en obra para que soporte los esfuerzo tangenciales producidos por el tráfico y se garantice la vida útil en un rango de 10 a 20 años.

¹ NORMAS DE ENSAYOS DE MATERIALES INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVIAS

Para comprobar si el material usado en la construcción de estructuras viales ha sido debidamente compactado en campo debe determinarse la densidad de cada capa compactada una vez por cada 250m², estos resultados se relacionan con los obtenidos en el laboratorio en el Grado de Compactación (GC) o Densidad Relativa. Las Densidades Relativas abarcan desde 95% a 100%. En campo se utiliza el Método del Balón de Caucho I.N.V. E – 162², Relación de Soporte del Suelo en el Terreno CBR “in situ” I.N.V. E – 169², Método del Cono de Arena I.N.V. E – 161², Densímetro Nuclear I.N.V. E – 164², Penetrómetro de Cono Dinámico I.N.V. E – 172².

² NORMAS DE ENSAYOS DE MATERIALES INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVIAS

1.3 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO

La compactación es aceptada, considerándose que cuanto más se compacte los suelos, mejores resultados han de obtenerse, por tanto los ingenieros Proyectistas e Investigadores han realizado pruebas de laboratorio que muestren el comportamiento mecánico del suelo con condiciones controladas, a continuación presentaremos los ensayos que se realizan en laboratorio Actualmente, existen muchos métodos para reproducir, en el laboratorio unas condiciones dadas de compactación en campo, todos ellos pensados en estudiar los distintos factores que gobiernan la compactación de los suelos. Históricamente el primer método en el sentido de la técnica actual es el debido a R. R. Proctor.

1.3.1 Prueba Proctor Estándar o Relaciones de peso unitario – humedad en los suelos, equipo normal I.N.V. E – 141.

Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado con un martillo de 2.5 kg (5.5 lb) que cae desde una altura de 305 mm (12"). Se han previsto cuatro procedimientos alternativos en la siguiente forma:

Método A.- Un molde de diámetro 102 mm (4"): material de un suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4).

Método B.- Un molde de diámetro 152 mm (6"): material de suelo que pasa tamiz de 4.75 mm (No.4).

Método C.- Un molde de diámetro 102 mm (4"): material de suelo que pasa el tamiz de 19.0 mm (3/4").

Método D.- Un molde de diámetro 152 mm (6") material de suelo que pasa el tamiz de 19.0 mm (3/4").

El informe debe incluir:

- Método empleado (A, B, C ó D).
- Humedad óptima, como porcentaje, aproximada al entero más próximo.
- Peso unitario máximo en kg/m^3 . con aproximación a 0.5 kg o en lb/pie^3 con aproximación al entero más próximo.
- En los métodos C y D indíquese el material retenido en el tamiz de 19.0 mm (3/4") que fue removido y reemplazado.
- Tipo de cara del martillo, si se usó una diferente a la circular de 50.8 mm (2") de diámetro.

Dos resultados obtenidos por operadores diferentes en diferentes laboratorios deberán considerarse dudosos si difieren en más del 15 % de su valor medio para el contenido óptimo de humedad y en 72 kg/m^3 (4.5 lb/pie^3), para el peso unitario máximo.

Este ensayo tiene correspondencia con:

- AASHTO T 99
- ASTM D 698

1.3.1.2 Observaciones Del Proctor Estándar O Relaciones De Peso Unitario – Humedad En Los Suelos, Equipo Normal I.N.V. E – 141.

La prueba de compactación Proctor Estándar es muy sencilla y rápida de realizar, se puede retrasar un poco por el requerimiento de calcular el contenido de humedad. En lo que se refiere al procedimiento no presenta mayor problema debido a que es repetitiva además de que no requiere equipo de gran tamaño o difícil de maniobrar.

Con esta prueba se obtiene la humedad óptima de compactación así como el peso específico seco máximo, que luego se compararan con los datos obtenidos en campo, para verificar si se cumplieron las condiciones adecuadas de compactación.

1.3.2 Ensayo Proctor Modificado O Relaciones De Peso Unitario-Humedad En Los Suelos Equipo Modificado I.N.V. E - 142

Se empezó a usar en tiempos de la Segunda Guerra Mundial por exigencias de subrasantes más densas en las pistas de los aeropuertos militares.

La entrega unitaria de trabajo, debe ser suficiente para vencer la resistencia al corte del suelo y por lo tanto, poder deformarlo de manera irreversible. Ello se expresa en la desigualdad de la ley de Coulomb:

$$\text{Trabajo externo} > C + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

Estos métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados en un molde de un tamaño dado con un martillo de 4.54 kg (10 lb) que cae desde una altura de 457 mm (18"). Se han previsto cuatro procedimientos alternativos en la siguiente forma:

Método A.- Un molde de diámetro 102 mm (4"): material de suelo que pasa un tamiz de 4.75 mm (No.4).

Método B.- Un molde de diámetro 152 mm (6"): material de suelo que pasa tamiz de 4.75 mm (No.4).

Método C.- Un molde de diámetro 102 mm (4"): material de suelo que pasa tamiz de 19.0 mm (3/4").

Método D.- Un molde de diámetro 152 mm (6"): material de suelo que pasa el tamiz de 19 mm (3/4").

El informe deberá incluir:

- Método empleado (A, B, C ó D).
- Humedad óptima, como porcentaje, aproximada al entero más próximo.
- Peso unitario máximo en kg/m^3 , con aproximación a 0.5 kg. (O en lb/pe^3 con aproximación al entero más próximo).
- En los métodos C y D indíquese el material retenido en el tamiz de 19.0 mm (3/4") que fue removido y reemplazado.
- Tipo de cara del pisón si se usó una diferente a la circular de 50.8 mm (2") de diámetro.

Correspondencia con otras normas

- AASHTO T 180
- ASTM D 1557

1.3.2.1 Observaciones Del Ensayo Proctor Modificado O Relaciones De Peso Unitario-Humedad En Los Suelos Equipo Modificado I.N.V. E – 142

Otras variables que afectan al proceso de compactación:

- Método de compactación usado en el campo
- Humedad original del suelo
- Sentido que recorre la escala de Humedades
- Temperatura
- Recompactación
- Número y espesor de capas, número de pasadas etc.

1.3.3 Determinación de la capacidad de soporte C.B.R del suelo. (California Bering ratio)

Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter del departamento de carreteras de California.

El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, y subbase.

1.3.3.1 EQUIPO

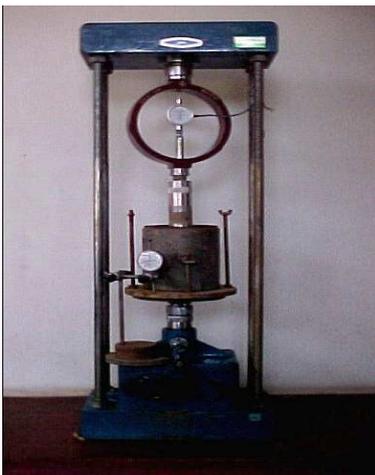


FOTO 3. EL EQUIPO MANUAL DE CBR.

Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

PENETRACION

Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400 *
12.70	0.500 *

* Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

1.3.3.2 Valor De La Relación De Soporte (Índice Resistente CBR).

- Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, con relación a la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Penetración		Presión		
mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

- Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas).
- De la curva corregida tómanse los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2.54 mm y 5.08 mm y calcúlense los valores de Relación de Soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6.9 MPa (1000lb/plg₂) y 10.3 MPa (1500 lb/plg₂) respectivamente, y multiplíquese por 100.

Los datos y resultados de la prueba que deberán suministrarse son los siguientes:

- Procedimiento y esfuerzo de compactación.
- Humedad al fabricar el espécimen.
- Peso unitario.
- Sobrecarga de saturación y penetración.
- Expansión del espécimen.
- Humedad después de la saturación.

- Humedad óptima y densidad máxima determinados mediante la norma INV E-142.
- Curva Presión-Penetración.
- Valor de Relación de Soporte.

Correspondencia Con Otras Normas

- ASTM D 1883
- AASHTO T 193

1.3.3.3 valores referenciales de C.B.R, usos y suelos.

			SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
No. CBR	Clasificación General	Usos	Unificado	AASHTO
0 – 3	Muy pobre	Subrasante	OH,CH,MH,OL	A5, A6,A7
3 – 7	Muy pobre a regular	Sub rasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 – 20	Regular	Sub base	OL,CL,ML,SC, S, M,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	Sub base y base	GM,GC,SW,S M,SP,GP	A-1b,A2-5, A-3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a,A2-4,A-3

1.3.3.4 Factores que afectan la determinación de la capacidad de soporte CBR del suelo. (California Bering Ratio)

La capacidad soporte del suelo permite determinar el tipo de mejoramiento que se le debe realizar al terreno para obtener la compactación y por tanto un incremento de la capacidad portante del terrenos

- En suelos plásticos, el tiempo de curado no debe ser menor que 24 horas, en cambio en suelos de baja plasticidad el plazo puede ser menor e incluso podría eliminarse.
- Si la densidad a la cual se requiere el CBR, es menor que la obtenida mediante 10 golpes de pisón, se compacta la probeta con menor energía de compactación.
- Si la muestra de suelo proviene de zonas desérticas en que se asegure que las precipitaciones anuales son inferiores a 50 mm. o no nieva, se puede eliminar la inmersión.
- En suelos finos o granulares que absorben fácilmente humedad, se permite un período de inmersión más corto, pero no menor de 24 horas, ya que se ha demostrado que con este período de tiempo, no se verán afectados los resultados.

1.4 MEDICION DE LA COMPACTACIÓN EN CAMPO

La compactación se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo. Sin embargo, resulta en un parámetro indirecto para medir o calificar las propiedades mecánicas. Para ello existe una muy amplia correlación experimental, que avala su empleo con este Propósito. Generalmente en obra se obtienen porcentajes del grado óptimo de compactación. A esto se denomina Grado de Compactación (GC) o Densidad relativa. Las densidades relativas generalmente abarcan desde 95% a 100% comparados con el Proctor Modificado.

En las bases granulares se requiere una compactación mínima de 95% a 100% en el campo y un C.B.R en campo >50%. Una vez obtenida la densidad en campo un diagrama de la prueba de la compactación de la densidad de humedad se compara con la curva de compactación de Proctor. Usando la siguiente fórmula la compactación relativa puede ser determinada:

$$\text{GC \%} = \frac{\text{Densidad de campo} * 100}{\text{Densidad máxima}}$$

Una compactación relativa del 99% indica que el suelo está densamente compactado en el campo, dejamos claridad que utilizamos el mismo ensayo Proctor Estándar o Proctor Modificado con

el que se representaron las condiciones en el laboratorio el uso de estos ensayos según criterio del Ingeniero.

1.4.1 RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO (CBR "IN SITU") I.N.V. E - 169

Esta norma establece el procedimiento que se debe seguir para determinar la relación de soporte (comúnmente llamada CBR = California Bearing Ratio), de un suelo ensayado "in situ", mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia.

Para hallar la relación de soporte sobre especímenes de laboratorio, refiérase a la Norma INV- 148.

1.4.1.1 Equipo

- Gato mecánico de tornillo, operado manualmente, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y diseñado con las siguientes especificaciones:

- Capacidad máxima de 2700 kg (5950 lb).
 - Mínima altura de elevación: 50 mm (2").
 - Manubrio desmontable 150 mm (6") de radio.
 - Relación de velocidad alta, aproximadamente 2.4 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
 - Relación de velocidad media, aproximadamente 5 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
 - Relación de velocidad baja, aproximadamente 14 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
 - Pueden usarse otras relaciones de velocidad, cuando esto sea más conveniente.
 - También se pueden usar otros gatos mecánicos, con la misma carga máxima y altura de elevación, siempre y cuando se obtenga con ellos una rata uniforme de penetración-carga de 1.3 mm (0.05") por minuto.
-
- Anillos de carga, dos en total con amplitud de carga de 0 a 8.8 kN (1984 lbf) y de 0 a 22.6 kN (5070 lbf).

 - Pistón de penetración, de 50.8 ± 0.1 mm (2 ± 0.004 ") de diámetro ($3 \text{ pulg}^2 = 19.35 \text{ cm}^2$ de área) y aproximadamente 101 mm (4").

- Diales.- Deben existir dos diales: uno para medir deformaciones del anillo de carga con lecturas de 0.0025 mm (0.0001") y recorrido de aproximadamente 6.4 mm (0.25") y otro para medir penetraciones del pistón con lecturas de 0.025 mm (0.001") y recorrido de aproximadamente 25 mm (1").
- Soporte para el dial de penetración, o puente de aluminio, hierro o madera de 76 mm (3") de altura y longitud aproximada de 1.5 m (5 pies).
- Platina de sobrecarga, circular, de acero, de 254 ± 0.5 mm (10 ± 0.02 ") de diámetro, con un agujero central circular de 51 ± 0.5 mm (2 ± 0.02 "). La platina debe pesar 4.54 ± 0.01 kg (10 ± 0.02 lb).
- Pesas de sobrecarga.- Dos pesas anulares de sobrecarga de 4.54 ± 0.01 kg (10 ± 0.02 lb), de 216 ± 1 mm (8.5 ± 0.04 ") de diámetro total, y dos pesas similares de las mismas dimensiones, pero de 9.08 ± 0.01 kg (20 ± 0.02 lb) cada una.
- Vehículo de carga (Reacción).- Un vehículo (o pieza de equipo pesado) de carga suficiente para proveer una

reacción de aproximadamente 31 kN (6970 lb). El vehículo debe estar equipado con una viga metálica.

- Gatos.- Dos gatos tipo camión, de 14 Mg (15 toneladas) de capacidad, de doble acción combinada y descenso automático.
- Equipo misceláneo.- Envases de muestras para determinación de humedad y peso unitario, espátula, regla de enrase, cucharones para excavar, etc.

1.4.1.2 Procedimiento

- Alístese el área de la superficie que va a ser ensayada, retirando el material suelto y superficial que no sea representativo del suelo que se va a ensayar. Prepárese un área de ensayo tan uniforme y horizontal como sea posible.
- El espaciamiento de los ensayos de penetración debe ser tal, que la operación en un punto no altere el suelo del siguiente punto que va a ser penetrado. Esta separación debe ser como mínimo 175 mm (7") en suelos plásticos y de 380 mm (15") en suelos granulares gruesos.

- Localícese el vehículo en tal forma que el dispositivo de reacción quede directamente sobre la superficie por ensayar.
- Instálese el gato mecánico debajo de la viga o dispositivo de reacción, con la manivela hacia afuera. Colóquense los gatos de camión a cada lado del vehículo y levántese para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores; cerciórese de que el vehículo está nivelado en la parte trasera.
- Ubíquese el gato mecánico en la posición correcta y conéctese el anillo de carga al extremo del gato. Conéctese el adaptador al extremo inferior del anillo, adiciónese el número necesario de extensiones hasta alcanzar una altura menor de 125 mm (4.9") sobre la superficie de ensayo y conéctese el pistón de penetración. Sujétese el gato en su sitio.
- Colóquese la platina de sobrecarga de 4.5 kg (10 lb) debajo del pistón de penetración, de tal forma que cuando baje el pistón, éste pase a través del agujero central.
- Asíéntese el pistón bajo una carga inicial de aproximadamente 21 kPa (3 lb/pulg²). Para una rápida

colocación, úsese la relación de alta velocidad del gato. Para materiales de base con una superficie irregular, colóquese el pistón sobre una delgadísima capa de polvo de trituración de piedra caliza (tamices No.20 -No.40) o de yeso.

- Adiciónense a la platina un número de pesos de sobrecarga tal, que transmita una presión equivalente a la intensidad de carga, producida por las capas de pavimento, que se colocarán sobre la subrasante, o la base o ambos, excepto que la mínima pesa aplicada será la de 4.5 kg (10 lb) más una pesa de sobrecarga de 9 kg (20 lb).
- Fíjese el soporte del dial de penetración al pistón y sujétese el dial a dicho soporte.
- Colóquense en cero las lecturas de ambos diales.
- Aplíquese la carga al pistón de penetración de tal manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1.3 mm (0.05") por minuto. Utilizando la relación de baja velocidad del gato durante el ensayo se puede mantener una rata uniforme de penetración por parte del operador. Regístrense las lecturas del anillo de carga para cada 0.64

mm (0.025") de incremento de penetración hasta una profundidad final de 12.70 mm (0.500").

- Al finalizar el ensayo, obténgase una muestra en el punto de penetración y determínese su humedad. También debe determinarse el peso unitario en un sitio localizado de 100 a 150 mm (4" a 6") desde el punto de penetración. El peso unitario debe determinarse de acuerdo con los métodos de ensayo INV E-161 (Método del Cono de Arena), E-162 (Método del Balón de Caucho), E-163 (Método del Cilindro Penetrante) o E-164 (Métodos Nucleares). La humedad debe determinarse de acuerdo con los métodos de ensayo INV E-114 (Determinación del Contenido de agua en suelos, etc.) o E-166 (Métodos Nucleares)

1.4.1.3 Cálculos

Curva de Esfuerzo-Penetración: Calcúlese el esfuerzo de penetración para cada incremento de penetración, dividiendo la fuerza aplicada por el área del pistón. Dibújese la curva de Esfuerzo vs. Penetración para cada incremento de penetración.

Relación de Soporte.- De la curva corregida tómense los valores de esfuerzo para penetraciones de 2.54 mm (0.100") y 5.08 mm (0.200") y calcúlense las relaciones de soporte para cada uno dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia de 6.9 MPa (1000 lb/pulg²) y 10.3 MPa (1500 lb/pulg²) respectivamente y multiplíquese por 100.

El informe debe incluir la siguiente información para cada ensayo:

- Localización del ensayo.
- Material.
- Profundidad del ensayo.
- Curva de Esfuerzo - Penetración.
- Relación de Soporte corregida para 2.54 mm (0.1") de penetración.
- Relación de Soporte corregida para 5.08 mm (0.2") de penetración.
- Humedad.
- Densidad.

Correspondencia Con Otras Normas

ASTM

D 4429

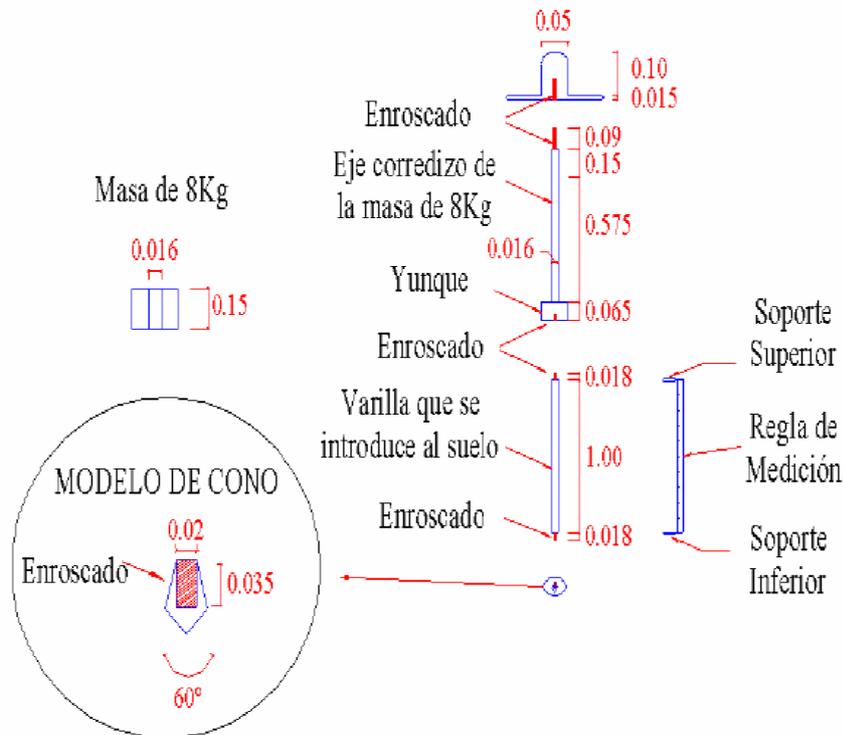
1.4.2 PENETROMETRO DINÁMICO DE CONO I.N.V. E - 172

El equipo se conoce también como surafricano y consta de una varilla de acero provista de una punta cónica de dimensiones específicas, la cual se hinca dentro del suelo por la acción de una masa de 8 Kilogramos que cae desde una altura pre-fijada. El ensayo consiste en medir con la ayuda de una escala que trae el aparato la cantidad de milímetros que penetra la varilla para un determinado número de golpes de la masa.

1.4.2.1 Equipo:

- Varilla de acero de penetración de 16mm. de diámetro.
- En su extremo inferior un cono de acero de 60° y 20mm. De Ø.
- Martillo deslizante de 8Kg que cae desde una altura de 575mm.

EQUIPO DE PENETRACION DINAMICA DE CONO (PDC)



- Regla de medición sujeta al instrumento por dos soportes, un soporte superior unido al yunque que sirve de referencia para las lecturas y un soporte inferior fijo a la regla y unido a la barra.

1.4.2.2 Procedimiento:

- Antes de iniciar el ensayo se debe verificar la limpieza del equipo y el buen estado del cono, comprobar la verticalidad de la varilla guía en el momento del ensayo.



- Una vez ubicado el lugar de ensayo, se ubica el equipo PDC verticalmente sobre un nivel de terreno donde no se encuentre directamente con piedras que obstaculicen el ensayo.



- El ensayo de PDC necesita de tres operarios, uno se encarga de mantener la verticalidad y el soporte del equipo, un segundo se encarga del golpe con el martillo y el tercero observa y apunta las medidas



La relación entre la resistencia a la penetración por punta y profundidad de hincia se expresa mediante la ecuación:

$$R = \frac{W_1 * H}{D} \times \frac{W_1 + (e^2 * W_2)}{W_1 + W_2}$$

Donde,

R = Resistencia a la penetración

W_1 = Peso de la masa de impacto

H = Altura de caída libre de la masa

W_2 = Peso muerto del aparato incluida la masa

e = Coeficiente de restitución

D = Profundidad de Penetración

La división de Ingeniería Materiales desarrollo pruebas en algunas carreteras del país en el segundo semestre de 1992 se modifica la expresión:

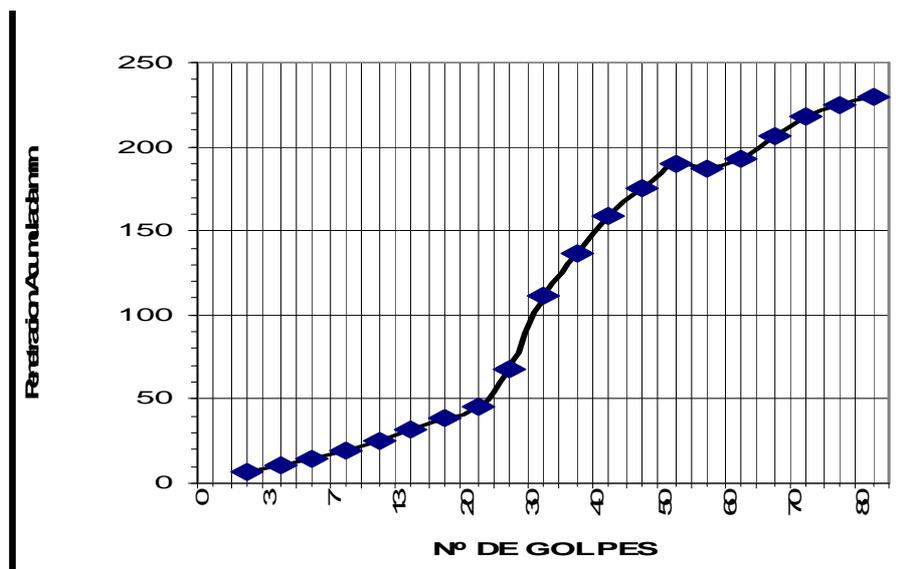
$$\text{C.B.R.} = 567 (\text{DN})^{-1.40}$$

DN = Penetración media de la varilla dentro del suelo a causa de los impactos de la masa mm/golpe

1.4.2.3 Evaluación De Los Resultados Del Ensayo PDC

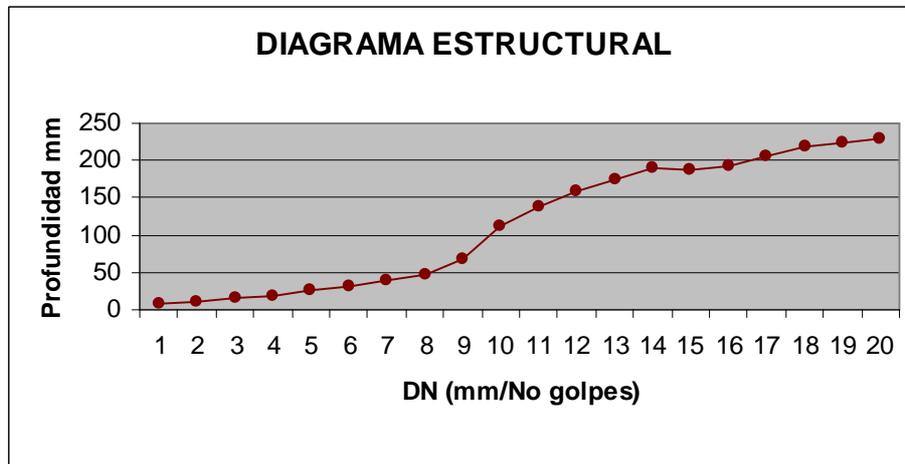
- **NUMERO DE GOLPES VS PROFUNDIDAD O CURVA PDC**

Cada capa homogénea de suelo da lugar a una recta cuya pendiente recibe el nombre de índice de penetración o número PDC, indicando una medida de su resistencia



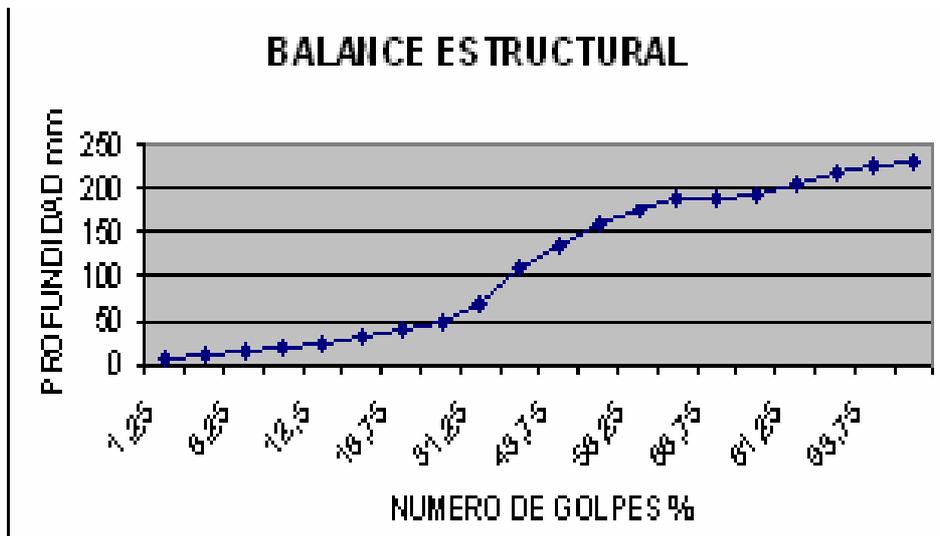
- **DIAGRAMA ESTRUCTURAL**

Relaciona el número de PDC con la profundidad. La constancia en dicho numero implica uniformidad en el material.



- **CURVA DE BALANCE ESTRUCTURAL**

Relaciona el porcentaje de golpes requeridos para penetrar cierta profundidad, respecto del número total de golpes necesario para penetrar la profundidad evaluada



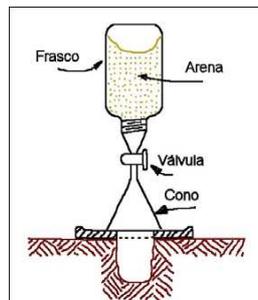
1.4.2.4 Observaciones Del Penetrometro Dinámico De Cono I.N.V. E – 172

- El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), se describe como un instrumento liviano de fácil transporte.
- Evaluación de la compactación que se obtiene en terreno
- Verificación de la eficiencia de los equipos de compactación utilizados en obra
- Control durante la construcción de las distintas capas que componen la estructura de Vial.
- Evaluación de pavimentos existentes³

³ EVALUACION DE LAS CAPACIDAD DE SOPORTE DEL TERRENO POR MEDIO DE UN EQUIPO DE PENETRACION DINAMICA; ING. CARLOS A. TUPIA CORDOVA Y EL DR. ING. JORGE ALVA HURTADO, LIMA - PERU

1.4.3 PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA I.N.V. E - 161

Representa una forma indirecta de obtener el volumen del agujero utilizando para ello, una arena estandarizada compuesta por arena silíceá normalizada.



Este método de ensayo se usa para determinar el peso unitario (densidad) de los suelos en el terreno. El empleo del aparato descrito aquí está restringido a suelos que contengan partículas no mayores de 50 mm (2") de diámetro.

1.4.3.1 Equipo

- Aparato del cono de arena.- El aparato del cono de arena consistirá de un frasco de aproximadamente un galón (3.785

lts) y de un dispositivo ajustable que consiste de una válvula cilíndrica con un orificio de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") de diámetro y que tiene un pequeño embudo que continúa hasta una tapa de frasco de tamaño normal en un extremo y con un embudo mayor en el otro.

- Arena.- La arena que se utilice deberá ser limpia, seca. Deberá tener un coeficiente de uniformidad (D_{60}/D_{10}) menor que 2 y no contener partículas que queden retenidas en el tamiz de 2 mm (No.10). Debe ser uniforme y preferiblemente de forma redondeada.
- Balanzas.- Una balanza de capacidad de 10 kg y sensibilidad de 2 g y otra de capacidad de 200 g y sensibilidad de 0.1 g.
- Equipo para el secamiento.- Estufa, horno u otro equipo adecuado para secar muestras con el fin de determinar su contenido de humedad.
- Equipo misceláneo.- Pequeña pica, cinceles y cucharas para excavar el agujero de ensayo recipientes adecuados para que contengan las muestras de peso unitario y humedad o para el peso unitario de la arena respectivamente, termómetro; pequeña brocha de pintura, cuaderno y cartera, etc.

1.4.3.2 Procedimiento

- Determínese el peso unitario del suelo en el sitio en la siguiente forma:
- Prepárese el sitio de la superficie para ser ensayada de tal manera que quede en un plano a nivel.
- Colóquese el aparato invertido sobre la superficie preparada y márquese el límite del contorno del embudo.
- Cávese el orificio del ensayo, dentro de la marca del embudo, teniendo cuidado de evitar la alteración del suelo que limita al hueco. Suelos esencialmente granulares requieren extremo cuidado. Colóquese todo el suelo suelto en un recipiente teniendo cuidado de evitar cualquier pérdida de material.



- Colóquese el aparato en la posición previamente marcada, ábrase la válvula y después que haya dejado de fluir la arena, ciérrrese la válvula.



- Pésese el aparato con la arena restante y determínese el peso de la arena usada para el ensayo.



- Pése el material que fue removido del hueco de ensayo.



- Mézclase completamente el material y asegúrese de lograr una muestra representativa para la determinación de la humedad.
- Pése y séquese la muestra del suelo para humedad.
- Los volúmenes mínimos sugeridos para los orificios de ensayo, para la determinación del peso unitario en el sitio, de mezclas de suelos se mide el contenido de humedad, en relación con el tamaño máximo de las partículas en las mezclas del suelo.

Calcúlese el peso unitario (densidad) en el sitio del material ensayado en g/cm^3 con aproximación a 0.01 g/cm_3 o en lb/pe^3 con aproximación a 0.1 lb/pe^3 .

Correspondencia Con Otras Normas

AASHTO T 191

ASTM D 1556

1.4.3.3 Observaciones Peso Unitario Del Suelo En El Terreno Método Del Cono De Arena I.N.V. E - 161

Permite conocer el porcentaje de compactación de una capa en campo, se demora un poco por los ensayos a realizar a la muestra extraída de la perforación, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros para ejecutar el ensayo:

- 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.
- Se debe tener la calibración de los equipos reciente.
- Puede que la arena de ensaye adquiera humedad, o suciedad, lo que puede influir en una errónea obtención de resultados.

- 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.
- Hay que ser muy preciso en anotar las cantidades con sus unidades y decimales correspondientes, ya que es muy fácil calcular equivocadamente.

1.4.4 PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO MÉTODO DEL BALON DE CAUCHO I.N.V. E - 162

Este método se refiere a la determinación del peso unitario en el terreno, de un suelo compactado o firmemente unido, mediante un aparato con una membrana de caucho.

1.4.4 .1 Equipo

- Aparato del balón de caucho.- Es un aparato con un cilindro calibrado diseñado para contener un líquido dentro de una membrana relativamente delgada, flexible y elástica (balón de caucho) para medir el volumen del hueco del ensayo.

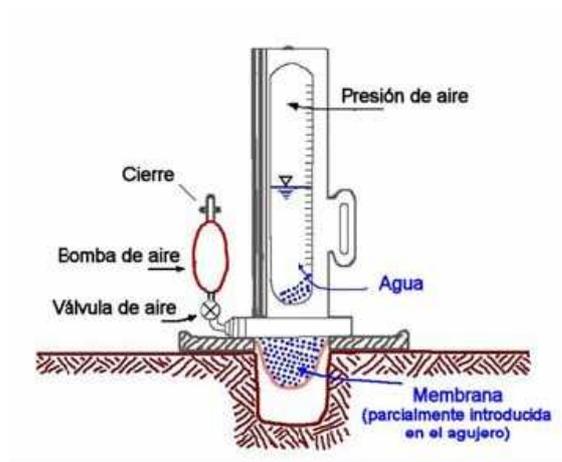


FIGURA EQUIPO DEL BALON DE CAUHO

- Se considera satisfactorio cualquier aparato que emplee una membrana flexible (caucho) y un líquido y que pueda utilizarse para medir el volumen del agujero bajo las condiciones de este ensayo con aproximación del 1.0 %.
- Balanzas.- Una de 10 kg y con sensibilidad de 1.0 g y otra de 2.0 kg y sensibilidad de 0.1 g.
- Estufa, horno u otro aparato adecuado y satisfactorio para secar suelos y muestras para humedad.
- Equipo Misceláneo.- Picas pequeñas, cinceles y cuchara para extracción, recipientes adecuados que puedan cerrarse para contener el suelo extraído de los huecos; termómetro y brocha pequeña.

Prepárese la superficie del orificio para el ensayo, de manera que quede razonablemente plana. Instálese el aparato en el sitio de ensayo y hágase una lectura inicial del indicador de volumen del vaso calibrado, empleando la misma presión sobre el líquido en el depósito y el mismo peso de sobrecarga usado en la calibración de comprobación. Luego de efectuada esta lectura inicial sobre el indicador de volumen, márquese el contorno del aparato sobre el sitio del orificio de ensayo. Anótese la presión empleada, la magnitud de la sobrecarga, y la lectura inicial del volumen. Si el aparato fue calibrado con una placa de base, ésta deberá mantenerse en el sitio durante el ensayo.

Remuévase el aparato del sitio y excávase un orificio centrado dentro de la marca delineada para el aparato. Téngase cuidado al excavar el hueco, de manera que el suelo alrededor del borde superior del mismo no se altere. Colóquese todo el suelo removido del agujero en un recipiente hermético para las determinaciones de peso y de humedad. El hueco del ensayo deberá tener el volumen mínimo indicado en la Tabla No.2. Huecos de tamaños mayores proporcionarán mayor precisión y deberán usarse cuando sea posible.

Las dimensiones del hueco de ensayo están relacionadas con el diseño del aparato y con la presión empleada; en general, estas dimensiones deberán aproximarse a las empleadas en el procedimiento de comprobación de la calibración.

Después de excavar el orificio, colóquese sobre éste el aparato, en la misma posición empleada para la lectura inicial, e ínflase la membrana flexible dentro del hueco. Aplíquese la sobrecarga y la presión del líquido en el depósito que se usaron durante el procedimiento de verificación de la calibración. Anótese la lectura del indicador de volumen. La diferencia entre esta lectura y la inicial obtenida en el ensayo de calibración, es el volumen del hueco de ensayo.

Determínese el peso del suelo húmedo extraído del orificio con aproximación a 5 g, (0.01 lb). Mézclase completamente el suelo, elíjase una muestra para contenido de humedad.

Calcúlese la humedad del suelo, w con aproximación del 1 % en la siguiente forma:

$$w = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

Calcúlese el peso unitario húmedo, o W_1 del suelo extraído del hueco del ensayo, en g/ml ó en lb/pie³.

Calcúlese el peso unitario seco del suelo extraído del hueco de ensayo en g/ml (lb/pie³),

Conviértase el peso unitario de g/ml a kg/m³.

Puede ser deseable expresar el peso unitario suelto en el sitio como porcentaje con respecto a otro peso unitario, por ejemplo el peso unitario máximo obtenido mediante el Proctor Normal o el Modificado.

El informe deberá incluir:

- Sitio del ensayo.
- Cota del sitio.
- Volumen del orificio, m³.
- Peso unitario húmedo en el sitio, kg/m³ (lb/pie³).
- Peso unitario seco, en el sitio kg/m³ (lb/pie³)

Correspondencia Con Otras Normas

AASHTO T 205

ASTM D 2167

1.4.4.2 Observación Del Peso Unitario Del Suelo En El Terreno Método Del Balón De Caucho I.N.V. E - 162

Como ventaja, este método resulta ser más directo y rápido que el cono de arena, pero entre sus desventajas se encuentran la posibilidad de ruptura del balón o la imprecisión en adaptarse a las paredes del agujero, producto de cavidades irregulares o proyecciones agudas lo que lo hacen poco utilizado.

1.4.5 PESO UNITARIO DEL SUELO Y DEL SUELO-AGREGADO EN EL TERRENO MEDIANTE MÉTODOS NUCLEARES (PROFUNDIDAD REDUCIDA) I.N.V. E - 164

Esta norma se refiere a la determinación en el terreno del peso unitario húmedo total de un suelo o de un suelo suelo-agregado con fines de investigación, control o diseño, colocando una fuente emisora y un detector de rayos gamma, sobre o dentro del material, o adyacente al mismo. Los métodos nucleares pueden aplicarse hasta profundidades entre 50 y 300 mm (2" y 12").

Empleando algunos modelos recientes de equipos nucleares pueden obtenerse simultáneamente el peso unitario seco, y el grado de compactación con respecto a un peso unitario de referencia.

La intensidad de la radiación detectada depende en parte del peso unitario del material bajo ensayo, y la lectura de la misma se transforma en peso unitario húmedo mediante una curva de calibración. Los resultados pueden afectarse por la composición química, la heterogeneidad de la muestra o por su textura superficial y también por distorsión espacial, por cuanto el aparato puede estar más sensible a ciertas zonas del muestreo.

Para la calibración y operación del equipo, así como para el procedimiento de ensayo, deberán tenerse en cuenta las recomendaciones del fabricante del equipo.

La ventaja principal de este ensayo, con respecto a procedimientos tradicionales (cono de arena, balón, etc.), radica en que no es destructivo y en la relativa facilidad para hacerlo, por lo cual pueden efectuarse muchos más ensayos y detectarse mediciones aparentemente erróneas.

El equipo empleado en este método es del tipo superficial, en oposición al de huecos profundos, y básicamente consta de tres elementos: (1) fuente nuclear emisora de rayos gama; (2) un detector sensible a estos rayos que son modificados al pasar a través del material que se está ensayando; (3) medidor para el cronometraje automático y preciso, que es necesario para determinar la rata a la cual los rayos gama modificados llegan al detector. Puede emplearse cualquier fuente de rayos gama que tenga emisión abundante y energía apropiada. La estabilidad de las fuentes con el tiempo, en términos de vida media, es una consideración importante de diseño y las más empleadas son Cesio-137 y Radio-Berilio. Los dos detectores más comúnmente empleados, son los tubos llenos de gas del tipo Geiger-Muller y los cristales centelleantes, generalmente de yoduro de sodio. Los

detectores del último tipo ofrecen la posibilidad de variar electrónicamente, el nivel de energía de los rayos gama que se cuentan. Con detectores de tipo Geiger - Muller este nivel está fijado en el diseño.

La rata a la cual los rayos gamma llegan al detector se denomina en esta norma, con el nombre de cuantía.

El volumen del suelo o del suelo-agregado representado en las mediciones es indeterminado y variará con la geometría del sistema fuente-detector del equipo empleado y con sus características físicas. En general, manteniendo constantes las condiciones restantes, cuanto más denso sea el material, menor será el volumen involucrado en la medida. El peso unitario determinado entonces, no es necesariamente promedio dentro del volumen incluido en la medida hecha bajo condiciones usuales; la cuantía está determinada en gran parte, por los 75 a 100 mm (3" a 4") superiores del material. Cuando los materiales son de peso unitario uniforme, esta característica no tiene efecto.

El número de rayos gama emitidos por una fuente durante un período dado, es estadísticamente aleatorio y sigue una distribución Gaussiana. Por esto, el número real de rayos modificados detectados y contados al medir un peso unitario,

deberá ser suficientemente grande para disminuir la probabilidad de que la cuantía observada, muestre variaciones inaceptables, que se reflejan en la desviación estándar de la cuenta total. La precisión del sistema completo para determinar pesos unitarios, es también de naturaleza estadística y puede variar con el equipo, con las condiciones de ensayo en el laboratorio frente a las del terreno, así como con los materiales y con los operadores, por lo cual no es posible dar números precisos para su exactitud.

Una de las fuentes más comúnmente empleadas, el Cesio 137, es producida por el hombre y su empleo está regulado por la Comisión de Energía Atómica en E.E.U.U., así como por algunos otros gobiernos. Como el radio es un elemento natural, su empleo está regulado igualmente por los respectivos gobiernos en la mayoría de los países. Además de los objetivos de establecer regulaciones e instrucciones precisas, están los de emplear el material radioactivo de manera segura para el operador y las demás personas.

1.4.5.1 Métodos de ensayo

Existen tres métodos generales para la ejecución del ensayo:

Método A – Retrodispersión.

Método B - Transmisión Directa.

Método C - Colchón de aire.

Las medidas se efectúan empleando rayos gamma, que en gran parte se reflejan con energía reducida, por dispersión o por transmisión directa, a través del material bajo ensayo.

Las hipótesis fundamentales inherentes a los métodos anteriores son: a) la dispersión Compto constituye la interacción predominante y b) el material bajo ensayo es homogéneo.

La determinación del peso unitario mediante métodos nucleares es indirecta, y no se ha desarrollado un procedimiento teórico que prediga la cuantía para un equipo, una disposición geométrica, un material y un peso unitario dados. Como consecuencia, la relación entre el peso unitario y la cuantía, es determinada mediante ensayos de correlación con materiales de pesos unitarios promedios conocidos. Los fabricantes de equipos individuales suministran una curva con cada equipo, pero estas curvas no se mantienen necesariamente para todos los suelos y suelos-agregados debido a diferencias en la composición química de los mismos. Las variaciones aparentes en las curvas de calibración también pueden ser inducidas por diferencias en el asentamiento, en la cuantía de referencia y en otras variaciones del ensayo. Pueden emplearse diferentes procedimientos para comprobar las curvas de calibración. Se dan en esta norma los

más utilizados, debiendo aplicarse estos procedimientos con equipos nuevos o a los equipos en servicio, cuando se substituyan sus partes principales.

Medidas de seguridad. Procedimientos detallados de seguridad se hallan por fuera del objeto de esta norma, pero es necesario que quienes empleen estos equipos se familiaricen con los riesgos de los mismos, que se establezcan ensayos rutinarios de escape o fugas de radioactividad, que se empleen registros y escarapelas para su medida, y que aquellos se evalúen debidamente.

Además de lo especificado en esta norma, se deberán atender las recomendaciones del fabricante acerca de la calibración del equipo empleado.

Se han establecido curvas de calibración determinando la cuantía para diferentes materiales de pesos unitarios diferentes y conocidos, dibujando la cuantía contra cada peso unitario conocido, y haciendo pasar una curva a través de los puntos resultantes. La cuantía podrá determinarse, promediando un mínimo de cuatro mediciones, de por lo menos un minuto de duración cada una, para cada material. El método empleado para establecer la curva debe ser el mismo que se usaría para determinar el peso unitario en un ensayo, pero los materiales

empleados para establecerla deben variar dentro de un intervalo que incluya el peso unitario de los materiales que se van a ensayar, y deberán tener un peso unitario uniforme.

Pueden establecerse curvas de calibración en las siguientes formas:

- . Empleando bloques con peso unitario conocido, de materiales que se consideran satisfactorios para este fin como el granito, el aluminio, el magnesio-aluminio laminado, la caliza y el magnesio.

- . Empleando muestras preparadas de suelo-agregado en recipientes compactados a pesos unitarios conocidos.

Verificación de las curvas de calibración de aparatos nuevos.- Deberán verificarse al ser adquiridos los aparatos y también cuando por cualquier razón se considere que los resultados de ensayos rutinarios son imprecisos. Para el método de retrodispersión, las curvas de calibración deberán verificarse en caso de ensayos de materiales que sean claramente diferentes de los tipos de materiales ensayados previamente, y que puedan tener composiciones químicas diferentes. Las curvas de calibración pueden verificarse ya sea sobre bloques o sobre muestras preparadas en recipientes.

Ajuste de la curva de calibración.- Cuando los bloques o recipientes preparados con materiales de peso unitario conocido están siendo empleados para ajustar la calibración, dibújese la cuantía contra cada peso unitario conocido, utilizado en 4.2. Si los puntos no se ajustan a la curva de calibración previamente establecida, reemplácese dicha curva por otra dibujada paralelamente a la anterior y a través de los puntos de cuantía.

- Cuando se está empleando el método del cono, del balón de caucho o del peso específico para ajustar la calibración, compárese el promedio de 10 sitios por lo menos, efectuando en cada sitio un ensayo nuclear y uno de arena, balón de caucho o peso específico, y procédase como se indica enseguida, para ajustar las curvas de calibración.
 - a) Si el peso unitario de cada uno de los ensayos de comparación, varía en menos de 80 kg/m^3 (5 lb/pe^3) del peso unitario determinado mediante el método nuclear, y si el promedio de los ensayos de peso unitario con sistemas convencionales está cerca de 32 kg/m^3 (2 lb/pe^3), el promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, no es necesario ningún ajuste de la curva de calibración.

- b) Si el promedio de esas determinaciones, está en más de 32 kg/m^3 (2 lb/pe^3) por encima o por debajo del promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, los ensayos subsiguientes deberán ajustarse mediante la diferencia en los promedios, la cual deberá agregarse si el promedio de los ensayos nucleares es menor, y sustraerse si es mayor.

- c) La diferencia promedio obtenida según el literal b) puede emplearse para dibujar una curva de calibración corregida, la cual será paralela a la de calibración original y deberá compararse en magnitud y dirección.

1.4.5.2 Especificaciones del sistema

Cualquier equipo que sea utilizado en este método, deberá satisfacer los requerimientos aquí especificados.

Precisión.- La precisión del sistema se determina a partir de la pendiente de la curva de calibración y de la desviación estándar de las cuantías observadas en un mismo sitio, para el tiempo de medición recomendado, el cual deberá ser por lo menos de 1 minuto:

$$P = \sigma/s \quad (1)$$

Donde:

P = Precisión

σ = Desviación estándar, de las cuantías observadas en un mismo sitio, para el tiempo de medición recomendado.

s = Pendiente, variación de la cuantía al variar el peso unitario, en cuantía/(kg/m³) (cuantía/(lb/pie³)).

Determinese la pendiente a partir de la curva de calibración en el punto de peso unitario igual a 1762 kg/m³ (110 lb/pie³). Determinese la desviación estándar a partir de diez (10) mediciones repetidas, (cada una con el tiempo de medición recomendado, y sin mover el aparato después de la primera medición), tomados sobre un material que tenga un peso unitario de 1762 ± 80 kg/m³ (110 ± 5 lb/pie³). El valor de P puede ser menor de 20 kg/m³ (1.25 lb/pie³).

Error químico.- El error debido a cambios en la composición química de materiales, que tengan coeficientes de atenuación

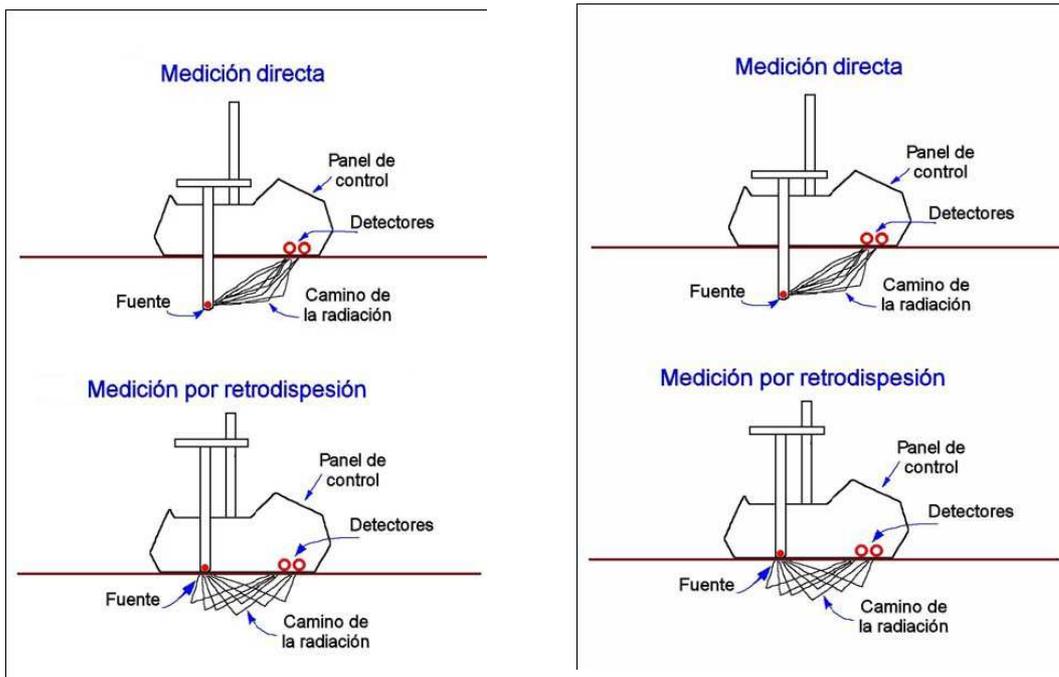
gamma menores que los del granito, o mayores que los de la caliza, no deberá ser mayor de $\pm 2.5\%$, en los métodos de retrodispersión, ni de $\pm 1.2\%$, para los de transmisión directa con la fuente a una profundidad de 150 mm (6").

Para la determinación del error químico podrá utilizarse lo especificado en el ensayo ASTM D 2922.

Error debido a la rugosidad de la superficie.- El error ocasionado por el colchón de aire de 1.3 mm (0.05") entre la base del medidor y la superficie del material que se está midiendo, no deberá ser mayor del 4%, en el método de retrodispersión, ni mayor del 1%, en el de transmisión directa, en la fuente colocada a 150 mm (6") de profundidad. Pueden disminuirse los efectos de la rugosidad superficial mediante preparación cuidadosa del sitio.

El efecto de la rugosidad de la superficie puede medirse así: colóquese el aparato sobre una superficie plana pulida, después de limpiar la superficie y la base del detector, y médase el peso unitario. Levántese luego el medidor, colocando espaciadores de 1.3 mm (0.05") entre la base del detector y la superficie del material, de manera que no interfiera con la zona de medida del detector. Vuélvase a medir el peso unitario aparente; la diferencia representa el error.

1.4.5.3 Equipo



La fuente emisora gamma, deberá ser una fuente de radioisótopos, encapsulada y sellada. (Ver figura 1a y 1b).

Detector de rayos gamma, de cualquier tipo adecuado.

Dispositivo de lectura, o contador automático, de escala apropiada, que registre la cuantía de los rayos que llegan al detector. Generalmente, el dispositivo de lectura deberá contener fuentes de alto y bajo voltaje, para operar el detector y los dispositivos accesorios de lectura.

Cajas.- La fuente, el detector, el dispositivo de lectura, y el suministro de corriente deberán hallarse en cajas de construcción fuerte, a prueba de humedad y polvo.

Patrón de Referencia, de peso unitario uniforme e invariable. Deberá proporcionarse para cada medidor, con el objeto de comprobar la operación del equipo y la calibración y para establecer condiciones de que la cuantía sea reproducible.

Dispositivos para la preparación del sitio.- Una placa de acero, una regla, así como otras herramientas de nivelación, adecuadas para aplanar el sitio de ensayo, hasta darle la tersura requerida.

Sonda.- (Aplicable al método de transmisión directa). Cualquier fuente gamma o el detector deberán alojar una sonda para ser insertada en un hueco preelaborado en el material que va a ser ensayado. La sonda deberá tener marcas con incrementos de 50 mm (2") para ensayos con profundidades de la sonda de 50 a 300 mm (2 a 12"). La sonda deberá ser operada mecánicamente, de manera que, cuando se mueva manualmente hasta la profundidad marcada deseada, se mantenga en su posición, a dicha profundidad.

Guía, para formar un agujero perpendicular a la superficie preparada.

Herramientas para hacer el hueco, en el material que se va a ensayar, como un barreno o una punta con un diámetro nominal, igual o ligeramente mayor que el de la sonda, pero que no exceda el de ésta, en más de 3 mm (1/8"). (Aplicable al método de transmisión directa).

Soportes espaciadores.- (Aplicables al método del colchón de aire). Sirven para sostener el medidor con vacío óptimo de aire por encima del material que se está ensayando. Los soportes espaciadores deberán diseñarse para que soporten el medidor a una altura óptima sin interferir la base del mismo.

1.4.5.4 Normalización

Es necesaria la normalización del equipo sobre un patrón de referencia, al inicio de cada día de uso y deberá mantenerse un registro permanente de tales datos.

Póngase a funcionar el equipo y déjese estabilizar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Si la comprobación de calibración muestra que no hay cambio significativo de la curva de calibración, deberá establecerse una nueva cuantía normal de referencia, N_0 . Si las comprobaciones de calibración muestran, una diferencia significativa en la curva de calibración, es necesario reparar y recalibrar el aparato.

$$N_S = N_0 \pm 2.0 \sqrt{N_0} \quad (3)$$

Donde:

N_S = Cuantía medida al comprobar la operación del instrumento sobre el patrón de referencia.

N_0 = Cuantía normal de referencia previamente establecida sobre el patrón referencia (promedio de 10 lecturas repetidas).

1.4.5.5 Determinación Del Peso Unitario Seco

Para obtener el peso unitario seco empléese uno de los métodos siguientes:

- Si la humedad se determinó por métodos nucleares, INV E-166, réstese el peso del agua en kg/m^3 (lb/pe^3) del peso

unitario total o húmedo y obténgase el peso unitario seco en kg/m^3 (lb/pe^3).

El Informe deberá incluir:

- Sitio del ensayo
- Descripción visual del material
- N_S , cuantía medida al comprobar la operación del instrumento (7.3) sobre el patrón de referencia (6.5), método y fecha de la misma.
- N_O , cuantía normal de referencia previamente establecida (7.3), sobre el patrón de referencia (6.5) (promedio de 10 lecturas repetidas).
- Cuantía para cada lectura.
- Cuantía total
- Peso unitario húmedo

Correspondencia Con Otras Normas

AASHTO T 238

ASTM D 2922

1.4.5.6 Observaciones del peso unitario del suelo y del suelo-agregado en el terreno mediante métodos nucleares (profundidad reducida) I.N.V. E – 164

- La densidad determinada, no es necesariamente el promedio de las densidades en el interior del volumen envuelto en la medición.
- El equipo utiliza materiales radiactivos que pueden ser peligrosos para la salud de los operarios a menos que se tomen las precauciones adecuadas.
- Los resultados obtenidos pueden ser afectados por la composición química, la heterogeneidad o la textura de la superficie del material medido (ejemplo: materiales orgánicos con alto contenido de sal).
- La colocación del medidor en la superficie del material a medir, es crítica para la exitosa determinación de la densidad. La condición óptima es el contacto total entre la superficie del medidor y la del material bajo ensayo. Como esto no es posible en todos los casos, para corregir las irregularidades de la superficie, se utiliza una arena fina o material similar. El espesor

del relleno no deberá exceder los 3 mm. y el área total rellenada no debe ser mayor que el 10% del área de la base del medidor.

- Al momento de la medición, no debe haber otra fuente de radiación cercana al medidor que pueda alterar los resultados.

CAPITULO 2. EVALUCION DEL NIVEL DE COMPACTACION DE RELLENOS ARTIFICIALES EMPLEANDO MACETA & PUNTERO

Se trata de una herramienta que nos permita medir cuantitativamente, la densidad alcanzada por los materiales seleccionados y compactados en el terreno, utilizando herramientas simples, que se encuentran comúnmente en la obra: el puntero y la maceta, identificando una correlación con el resultado obtenido por otros métodos formales, como el Penetrometro de cono dinámico y la densidad obtenida con densímetro nuclear que son los ensayos más usuales que se realizan en obra.

Se pretende que este ensayo cualitativo provea información primaria, aceptada para calcular la compactación alcanzada en obra. Por consistir en el desarrollo de un procedimiento de campo, simplificado y de fácil aplicación, el aporte es significativo en términos de ahorro de tiempo y dinero pues permitiría estimar el momento casi exacto en que se alcanza el nivel de compactación deseado, y oportuno para la realización de los ensayos formales con buen grado de certeza de que los resultados entregados por estos serán positivos.

Consiste en un puntero que es golpeado repetidamente para así penetrar en el suelo y conocer la resistencia de este a la penetración, dicha punta consta de un tronco de pirámide; con las siguientes características:

2.1 CARACTERISTICAS DEL PUNTERO & MACETA

P.C. DISEÑOS Y CONSTRUCCIÓN

Girardot, 28 de Febrero de 2008

Señor:
FREDY SAMUEL RONDON
Ciudad

REFERENCIA: CARACTERIZACION DE HERRAMIENTAS PARA ENSAYO DE
CBR EN SITIO

Respetado señor:

Nos permitimos dar a conocer los resultados de caracterización de las herramientas para ensayo de CBR en sitio.

MACETA:
Peso: 1.565 gr.

PUNTERO:
Peso: 833.4 gr.
Volumen: 106.3 cm³
Densidad: 0.00784 Kg./cm.

Quedando a su entera disposición para cualquier aclaración o información complementaria que pudiese requerir.

Atentamente,

ING. PEDRO ALEJANDRO RUBIO S. **ING. CAROLINA HERNANDEZ G.**
M.P. 25202106775 CND M.P. 25202106771 CND

Dirección: Calle 16 No. 7-64 Girardot • Cundinamarca
Teléfax: 0918330011 Cel: 3123502696 – 3144130352
Correo Electrónico: pedisenosyconstruccion@yahoo.es

PUNTERO



PESO:	833.40 gr	CABEZA	Diámetro: 28.9 mm	CUERPO:	Diámetro: 22.9 mm	PUNTA	Diámetro: 27.5 mm	LONGITUD:	300.0 mm
DENSIDAD:	7.84 gr/cm ³		Diámetro: 28.8 mm		Diámetro: 22.9 mm		Diámetro: 24.5 mm		
MATERIAL:		Acero cromado	Diámetro: 28.2 mm		Diámetro: 22.9 mm		Diámetro: 20.8 mm	VOLUMEN	106.3 cm ³

MACETA

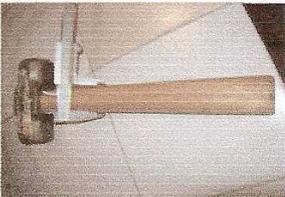


PESO.
1565 gr



DIMENSIONES

Cabeza:	118.7 mm			
Diámetro 1	41.8 mm	40.2 mm	Promedio:	41.0 mm
Diámetro 2	46.4 mm	47.8 mm	Promedio:	47.1 mm



Man go:		Material:	Madera
Ancho 1:	36.3 mm		
Ancho 2:	32.4 mm		
Ancho 3:	37.9 mm		



Longitud: 270.0 mm

Este ensayo se concibe para apreciar la compactibilidad de las base granular instalada en obra. Los resultados obtenidos se deben de tratar con mucho cuidado debido a que el suelo puede refluir por encima de la punta, por ello se debe remover con cuidado para lograr tomar la medida correctamente.

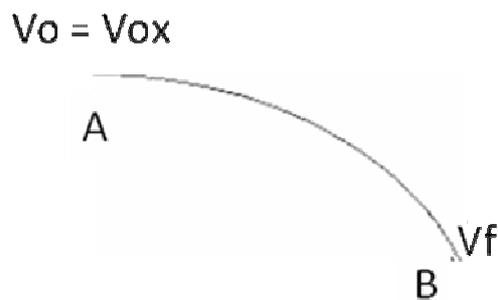
El golpeteo es producido por la caída de una maceta o almadena de peso variable según se tenga en la obra desde una altura de 0.90 m de altura luego golpea la cabeza de un puntero que transmite el golpe a la punta que va atravesando el terreno según su dureza.

2.2 Principio Físico

Este equipo se basa en el principio físico de la conservación de la cantidad de movimiento.

Inicialmente suponemos las siguientes formulas:

- Fuerza= m.a
- Caída Libre en movimiento semi-parabólico:



$$V_f = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{Tan } \theta = \frac{V_y}{V_x}$$

Esta formulación inicial supondría demasiadas variables, por lo tanto la caída de la maceta se debe hacer desde 1.0m de Altura y con un ángulo de inclinación del brazo a 90° de la horizontal imaginaria, además el choque de la almadena o maceta con la cabeza de impacto es completamente plástico, es decir no se produce el rebote de la maceta o almadena al impactar.

La cantidad de movimiento de la maceta o almadena es:

$$\underline{M} v = \underline{M} \sqrt{2 g H}$$

g g

Siendo $\sqrt{2gH}$ la velocidad en caída libre de un cuerpo, en este caso la maceta o almadena.

Aplicando posteriormente otro de los principios de mecánica "La diferencia de energía cinética es igual al trabajo efectuado". En este caso la maceta o almadena pasa de poseer una energía potencial en el momento inicial a tener energía cinética en el momento final que se transmitirá finalmente al puntero que penetrará en el suelo recibiendo de este una resistencia a la penetración que deriva de este concepto.

La resistencia a la penetración del terreno será por tanto:

$$R_{\text{penetración}} = \frac{M^2 \cdot H}{(M + P) A \cdot e}$$

Siendo:

M: el peso de la maceta o almadena en kilogramos.

P: es el peso de la maceta más el peso del puntero en kilogramos.

e : espacio recorrido por el puntero dividido en el número de golpes dados

H : altura a la que cae la maceta o almadena y golpea a la cabeza del puntero

A: área de la punta del puntero en cm^2

2.3 Partes del Equipo

El equipo esta formado por:

2.3.1 Puntero: Es una pieza de acero cromado cuya punta es en forma de tronco de pirámide que se utiliza para transmitir la energía de golpeteo, la longitud del puntero es de 0.30m desde la cabeza del puntero hasta la punta de penetración, el peso del puntero es de 833.40gramos.

2.3.2 Maceta o Almádena: Cuerpo pesado de acero que se eleva a una altura de 0.90m dejando caer para conseguir el golpeteo, el peso de la maceta puede variar dependiendo de los elementos en obra así: de 3lbs (1567gramos).

2.4 Instrumentos De Medida

- **Contar el número de golpes.** Se debe iniciar la cuenta de los golpes realizados a largo de la prueba para tomar las medidas, siendo, diez el primer numero de golpes requeridos para tomar la primera medida de penetración.

- **Cinta Métrica.** Todo ensayo realizado deberá tener cerca un metro para tomar la medida de la profundidad de penetración obtenida después de cierto número de golpes.

2.5 PROCEDIMIENTO OPERATORIO.

1. Seleccionar el punto de ensayo con el fin de que no haya perturbaciones, debe distanciarse por lo menos un metro de cualquier otro punto ya ensayado.



2. En el punto seleccionado se colocará el puntero de tal manera que quede vertical.



3. Se inicia el golpeteo con maceta o almadena desde una altura de 0.90m al terminar los 10 golpes se debe tomar la lectura de penetración con la cinta métrica.





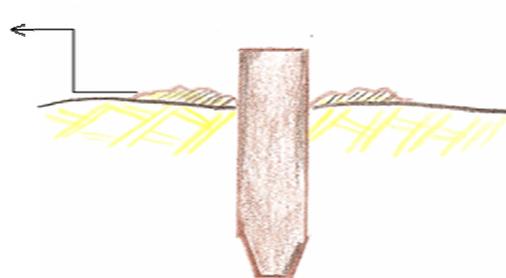
4. Se inicia de nuevo el golpeteo conservando la altura de caída pero se detiene el golpeteo al completar cinco golpes para tomar la lectura de penetración con la cinta métrica.



5. Se inicia de nuevo el golpeteo conservando la altura de caída pero se detiene el golpeteo al completar cinco golpes para tomar la lectura

de penetración con la cinta métrica, se debe revisar que el suelo no este por encima del borde de penetración y si lo hay se debe remover con cuidado para lograr tomar la medida correctamente.

Limpieza del material desplazado al golpear el puntero antes de tomar lectura



6. Se continua con el procedimiento con intervalo de cinco golpes y tomando la lectura hasta tener un penetración de 0.25m del puntero ó al llegar a los 80 golpes.



2.6 FINALIZACIÓN DE LA PRUEBA.

La prueba se dará por finalizada cuando se satisfagan algunas de las siguientes condiciones.

- Se alcanza la profundidad previamente estipulada.
- Se superen el número de golpes para una distancia de penetración dada.

2.7 El campo de aplicación.

El ensayo de penetración con puntero y maceta se emplea para evaluar la resistencia de un terreno y su deformabilidad, esta especialmente indicado para bases granulares.

2.8 METODOLOGIA

- Investigación preliminar del terreno
- Se realizaran el procedimiento operatorio
- Toma de datos en el terreno
- Se analizaran y se compararan entre ensayos tomados
- Resultados

2.8.1 DESARROLLO METODOLOGICO

El golpeo se efectuará con una frecuencia que dependerá del dispositivo que utilicemos, también se medirá el número de golpes N_n cada vez que la maceta y el puntero recorra una distancia que viene determinada por el tipo de Penetrómetro.

Se debe de tener precaución extrema cada vez que se debe realizar nuevos golpes para evitar imprimir movimientos verticales o de fuerza del operario. Después de todo ello se debe de mirar que la verticalidad del puntero del 5 %.

Se deberán anotar todas aquellas interrupciones que se prolonguen más de un cuarto de hora.

CONCLUSIONES DE LAS CORRELACIONES DE LOS ENSAYOS

La gráfica HUMEDAD V/S P&M muestra que existe una relación de proporcionalidad inversa entre el resultado del ensayo del CBR y el ensayo con P&M, lo que resulta lógico dado que es natural que un material con menor grado de densidad permita una mayor penetración (medida en mm) en el ensayo de P&M; no obstante, la correlación no es muy buena pues se observa mucha dispersión ($R^2=0.042$).

La gráfica P&M V/S DENSÍMETRO NUCLEAR muestra que, para el caso del ensayo de densidad medida con densímetro nuclear, también existe una proporcionalidad lógica entre este ensayo formal y el cualitativo diseñado por nosotros (P&M), pues a menor densidad, mayor penetración reporta el ensayo cualitativo. Para este caso la correlación mejora significativamente pues se disminuye la dispersión, arrojando un coeficiente de correlación de 0.515, el cual es muchas veces mayor al obtenido para los ensayos anteriores.

La humedad no muestra tener ninguna afectación lógica sobre el ensayo, como lo permite visualizar la gráfica HUMEDAD V/S P&M donde se presentan los resultados de P&M para diferentes estados de humedad.

Descartando el CBR como ensayo comparativo, debido a la gran dispersión de resultados, y dejando como referencia el densímetro

nuclear, podemos afirmar que el ensayo cualitativo de P&M sirve como indicador del nivel de compactación bajo los siguientes rangos:

- Para penetraciones mayores a 225 mm, se pueden esperar densidades (medidas con densímetro nuclear) inferiores al 90%.
- Para penetraciones menores a 225 mm, se pueden esperar densidades superiores al 90%
- Solamente para penetraciones menores de 175 mm se pueden esperar densidades optimas, cercanas al 100%.

El ensayo de CBR muestra variaciones significativas lo que indica que no es muy exacto y que depende mucho del procedimiento de ensayo, razón por lo cual sus datos no son muy confiables; por el contrario, el densímetro, por ser una maquina normalizada, genera resultados mas consistentes y por tanto mas confiables.

CONCLUSIONES

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles.

La importancia de la compactación de suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, 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, bordes de defensas, muelles, pavimentos, etc.

Los métodos empleados para la compactación de suelos dependen del tipo de materiales con que se trabaje en cada caso; en los materiales puramente friccionantes como la arena, los métodos vibratorios son los más eficientes, en tanto que en suelos plásticos el procedimiento de carga estática resulta el más ventajoso. En la práctica, estas características se reflejan en el equipo disponible para

el trabajo, tales como: plataformas vibratorias, rodillos lisos, neumáticos o patas de cabra.

Luego de realizar la compactación se debe medir el grado de compactación obtenido en campo en este caso específico se trata de un **ENSAYO CUALITATIVO SIMPLIFICADO PARA ESTIMAR EL NIVEL DE COMPACTACION DE RELLENOS ARTIFICIALES EMPLEANDO MACETA & PUNTERO**, se realizaron los ensayos de medida de compactación de rellenos mejorados en campo tanto con nuestro equipo como con el ensayo de Penetrometro Cono Dinámico y el Densímetro Nuclear, obteniendo una correlación estadística

Reconociendo la importancia del manejo del suelo en una vía, es necesario controlar con dichos ensayos el uso de este, dicho ensayo manejado es de PUNTERO & MACETA, comparado con el de PENETROMETRO DINAMICO DE CONO, el cual el dato comparativo nos arrojó que dichos ensayos son teóricos y práctico iguales, su observación de dicha diferencia es el número de golpes arrojado por cada uno.

Es pertinente, decir que la maceta y el puntero son herramientas opcionales en una obra, sabiendo que en dicha obra no cuentan con la disponibilidad del penetrometro dinámico de cono, se puede manejar

con este ensayo maceta & puntero, ya que es viable en la toma de datos para saber la compactación del suelo.

En el caso de suelos con compactación mayor al 95% el ensayo de puntero maceta no muestra incremento en la lectura de penetración, e igualmente en caso que la compactación sea deficiente el puntero va a presentar un hinchamiento acelerado, deteniendo el ensayo cuando la penetración medida del puntero sea igual a 23cm.

RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta la humedad del terreno para el ensayo
- En el momento del golpeo de la maceta con el puntero tener una posición de 90° para tener igualdad de golpeo.
- Limpiar el terreno cuando se tome la lectura con la cinta métrica.
- No olvidar en cada ensayo verificar la punta del puntero.

BIBLIOGRAFÍA

- Bowles, Joseph E. (1981), "Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil" . Mc Graw-Hill Book Company.
 - Bowles, Joseph E. (1984), "Physical and Geotechnical Properties of Soils". McGraw-Hill Book Company.
 - Universidad Nacional de Ingeniería – FIC (), "Laboratorio de Mecánica de Suelos".
 - Valle Rodas, Raúl (1982), "Carreteras, Calles y Aeropistas", El Ateneo.
 - Vivar Romero, Germán (1990-1991), "Diseño y Construcción de Pavimentos", Ediciones CIP.
 - Pagina virtual Google.com
-