

## USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO EN APLICACIONES DE PAVIMENTOS A POCA PROFUNDIDAD

INV E – 172 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kg (17.6 lb), a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (*California Bearing Ratio*). La masa unitaria del suelo también se puede estimar (nota 1) si se conocen el tipo de suelo y su contenido de agua. El PDC descrito en esta norma de ensayo es utilizado principalmente en aplicaciones relacionadas con pavimentos.
- 1.2** Este método de ensayo permite el uso opcional de un martillo deslizante de 4.6 kg (10.1 lb) en lugar del de 8 kg (17.6 lb), si este último produce una penetración excesiva en suelos muy blandos.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E–172–07.

### 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kg (17.6 lb) (Figura 172 - 1)* – Es un dispositivo utilizado para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados.
- 2.2** *Accesorio de deslizamiento (Figura 172 - 1)* – Un dispositivo opcional que facilita la lectura de la distancia que penetra dentro del suelo la punta del penetrómetro dinámico de cono (PDC). Generalmente va asegurado al yunque del aparato o a la varilla inferior y se sostiene y se desliza sobre una escala independiente o puede estar sostenido por una varilla externa y deslizar a lo largo de la varilla inferior del penetrómetro.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El operador dirige la punta del PDC dentro del suelo, levantando el martillo deslizante hasta la manija y soltándolo para que caiga libremente hasta golpear el yunque. La penetración total para un determinado número de golpes es medida y registrada en términos de milímetros por golpe, valor que se utiliza para describir la rigidez, para estimar un valor de la resistencia CBR in-situ a través de una correlación apropiada o para establecer otras características del material.

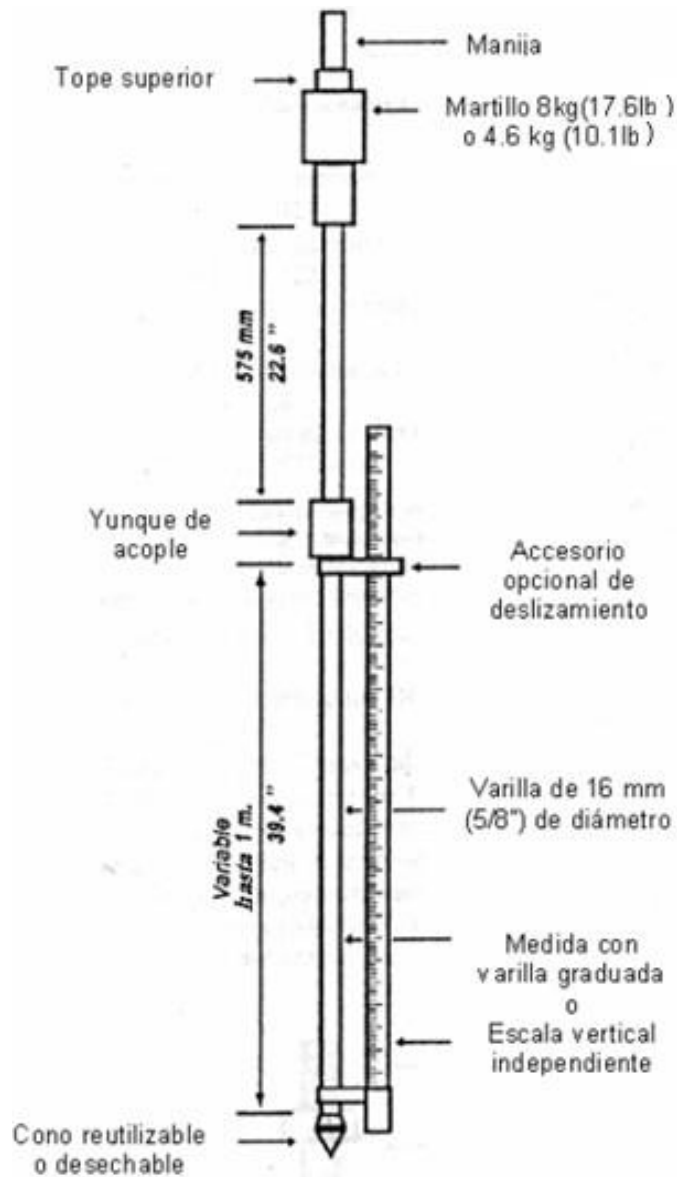


Figura 172 - 1. Esquema del dispositivo PDC

## 4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados y/o materiales compactados. La rata de penetración del PDC de 8 kg (17.6 lb) se puede utilizar para estimar el CBR in-situ; para identificar los espesores de las capas; así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los materiales que las constituyen.
- 4.1.1** Existen otros métodos de ensayo para penetrómetros con diferentes masas de martillo y tipos de puntas cónicas, los cuales tienen correlaciones que son aplicables únicamente a esos instrumentos específicos.
- 4.2** El PDC de 8 kg (17.6 lb) debe ser sostenido verticalmente durante su empleo y, por lo tanto, es utilizado fundamentalmente en aplicaciones de construcciones horizontales, tales como pavimentos y losas de piso.
- 4.3** El instrumento se emplea en la evaluación de las propiedades de los materiales a una profundidad hasta de 1000 milímetros (39") bajo la superficie. La profundidad de penetración se puede incrementar utilizando extensiones en la varilla inferior; sin embargo, si se emplean extensiones en la varilla inferior, se debe tener cuidado cuando se empleen las correlaciones para estimar otros parámetros, puesto que dichas correlaciones son solamente apropiadas para las configuraciones específicas del PDC. La masa y la inercia del dispositivo cambiarán y se producirá, inevitablemente, una resistencia adicional a la fricción a lo largo de las extensiones de la varilla.
- 4.4** El PCD de 8 kg (17.6 lb) se puede utilizar para estimar las características de resistencia de suelos de grano fino y grueso, materiales de construcción y materiales débiles modificados o estabilizados. El dispositivo no se puede emplear en materiales altamente estabilizados o cementados o en materiales granulares que contengan un gran porcentaje de agregados pétreos cuyas partículas tengan tamaños superiores a 50 milímetros (2").
- 4.5** El PDC de 8 kg (17.6 lb) se puede emplear para estimar la resistencia CBR in- situ de materiales que se encuentren por debajo de una capa altamente estabilizada, previo el barrenado de la misma para permitir un orificio de acceso.

*Nota 1: El PDC se puede utilizar para evaluar la densidad de un material razonablemente uniforme, relacionando la densidad con la tasa de penetración sobre el mismo material. De esta manera, se pueden identificar suelos deficientemente compactados o bolsas blandas, aunque el PDC no mida la densidad directamente.*

- 4.5.1** Una medida de campo del PDC da, por correlación, un valor de CBR de campo, y normalmente no correlaciona satisfactoriamente con el CBR del laboratorio sobre el mismo material. Este ensayo se debe interpretar, entonces, como evaluador de la resistencia in-situ del material, bajo las condiciones existentes en el terreno en el instante de la prueba.

## 5 EQUIPO

---

- 5.1** El PDC de 8 kg (17.6 lb) se muestra esquemáticamente en la Figura 172 - 1. Debe ser de acero inoxidable con excepción del cono, el cual puede ser de acero endurecido u otro material similar, resistente al desgaste. Está constituido por los siguientes elementos:

- 5.1.1** Una varilla de acero de 16 milímetros (5/8") de diámetro, con una punta cónica reutilizable o desechable.
- 5.1.2** Un martillo de 8 kg (17.6 lb), el cual es accionado desde una altura fija de 575 milímetros (22.6").
- 5.1.3** Un yunque de ensamble y una manija. La punta del cono tiene un ángulo de 60° y el diámetro en la base del cono es de 20 milímetros (0.79") (Ver Figura 172 - 2).

- 5.2** Se deben cumplir las siguientes tolerancias:

- 5.2.1** La tolerancia en el peso del martillo de 8 kg (17.6 lb) es 0.010 kg (0.02 lb).
- 5.2.2** La tolerancia en el peso del martillo de 4.6 kg (10.1 lb) es 0.010 kg (0.02 lb).
- 5.2.3** La tolerancia en la altura de caída de 575 mm (22.6") es 1 mm (0.04").
- 5.2.4** La tolerancia en el ángulo de la punta del cono de 60° es 1°.
- 5.2.5** La tolerancia en la base de medida del cono de 20 mm (0.79") es 0.25 mm (0.01").

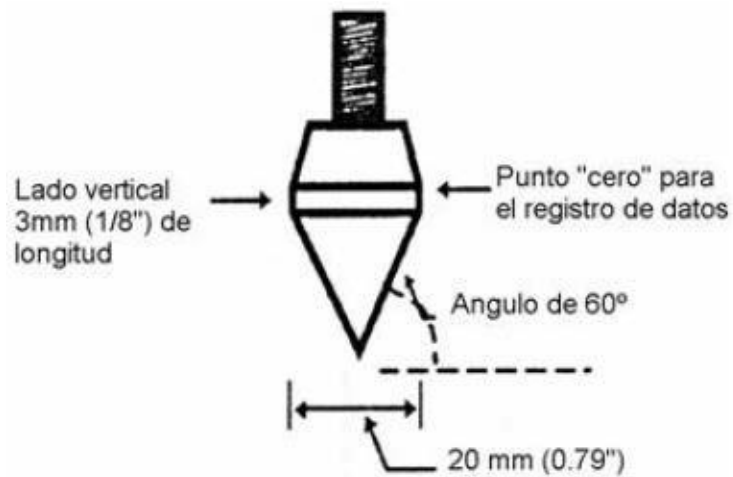


Figura 172 - 2. Cono reutilizable

*Nota 2: Se puede emplear un cono de tipo desechable. La punta cónica desechable es sostenida en el lugar con un aro de presión, el cual permite a la punta zafarse fácilmente cuando la varilla es tirada hacia arriba luego de completado el ensayo. El cono de tipo desechable se muestra esquemáticamente en la Figura 172 - 3.*

**5.3** Además del penetrómetro dinámico de cono (PDC), se requiere el siguiente equipo:

**5.3.1** Herramientas para ensamblaje del PDC.

**5.3.2** Aceite lubricante.

**5.3.3** Llave para atornillar.

**5.3.4** Formato para el registro de los datos (ver Tabla 172 - 1).

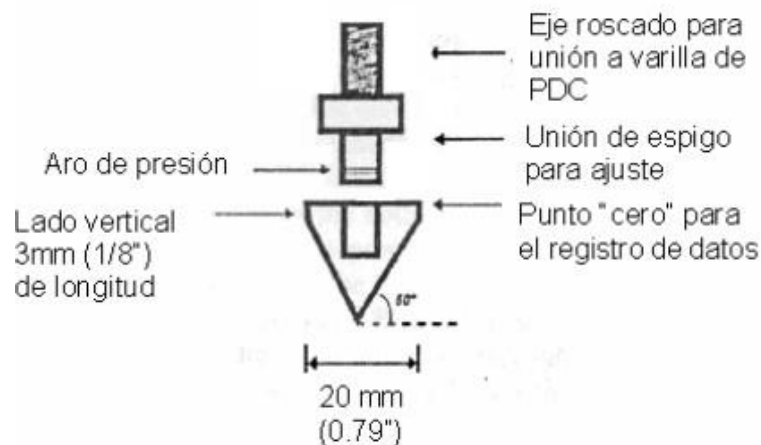


Figura 172 - 3. Cono desechable

Tabla 172 - 1. Formato de registro de datos del PDC

Proyecto: Carretera Servicio Forestal				Fecha: Julio 7 /2001			
Localización: Estación 30+50				Personal: JLS y SDT			
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 0				Peso del martillo: 8 kg			
Clasificación del material: GW/CL				Tiempo: Predicción 25° C			
Condición del pavimento: No aplica				Nivel freático: desconocido			
1	2	3	4	5	6	7	8
Número de golpes A	Penetración acumulada <sup>B</sup> (mm)	Penetración entre lecturas <sup>C</sup> (mm)	Penetración por golpe <sup>D</sup> (mm)	Factor del martillo <sup>E</sup>	Índice PDC <sup>F</sup> mm/golpe	CBR % <sup>G</sup>	Humedad (%) <sup>H</sup>
0	2	--	--	--	--	--	
5	25	25	5	1	5	50	
5	55	30	6	1	6	40	
15	125	70	5	1	5	50	
10	175	50	5	1	5	50	
5	205	30	6	1	6	40	
5	230	25	5	1	5	50	
10	280	50	5	1	5	50	
5	310	30	6	1	6	40	
5	340	30	6	1	6	40	
5	375	35	7	1	7	35	
5	435	60	12	1	12	18	

A. Número de golpes del martillo entre lecturas

B. Penetración acumulada luego de cada serie de golpes

C. Diferencia de penetración acumulada (nota B) entre lecturas

D. Nota C / Nota A

E. Colocar "1" si el martillo es de 8 kg y "1/2" si el martillo es de 4.6 kg

F. Nota D x Nota E

G. De la correlación entre el CBR y el índice PDC

H. Porcentaje de agua (cuando se disponga del dato)

#### 5.4 Dependiendo de las circunstancias, puede ser necesario el siguiente equipo adicional:

- 5.4.1 Una escala vertical graduada en incrementos de 1 mm (0.04") o una varilla de medición más larga que la varilla de penetración del PDC, si esta última no está graduada.
- 5.4.2 Un dispositivo deslizante opcional para el uso de una regla o escala separada de la varilla de penetración.
- 5.4.3 Un sacanúcleos apropiado para perforar orificios de un diámetro mínimo de 25 mm (1"). Se puede requerir una perforación de mayor diámetro, dependiendo del material subyacente o de la necesidad de ensayos adicionales o de muestreo.
- 5.4.4 Una aspiradora húmeda/seca o una alternativa adecuada para remover el material suelto y fluido, si se realiza un orificio de acceso antes del ensayo.
- 5.4.5 Fuentes de poder para los elementos citados en los numerales 5.4.3 y 5.4.4.

**5.4.6** Puntas cónicas desechables.

**5.4.7** Martillo de doble masa (ver Figura 172 - 4).

**5.4.8** Gato de extracción, el cual se recomienda si no se emplean puntas cónicas desechables (ver Figura 172 - 5).

*Nota 3: Se puede emplear un martillo de 4.6 kg (10.1 lb) (ver Figura 172 - 4) en lugar del martillo de 8 kg (17.6 lb), siempre y cuando la altura normalizada de caída del martillo se mantenga. El martillo de 4.6 kg (10.1 lb) se emplea en materiales débiles, donde el martillo de 8 kg (17.6 lb) puede producir penetraciones excesivas.*

*Nota 4: Se puede emplear una versión automatizada del PDC (PDCA), siempre que se cumplan todos los requisitos de esta norma con respecto al aparato y al procedimiento de ensayo.*

*Nota 5: Se permite emplear un sistema automático de recolección de datos, si mide y registra con aproximación a 1 mm (0.04") y no interfiere ni con la operación ni con los resultados del dispositivo.*

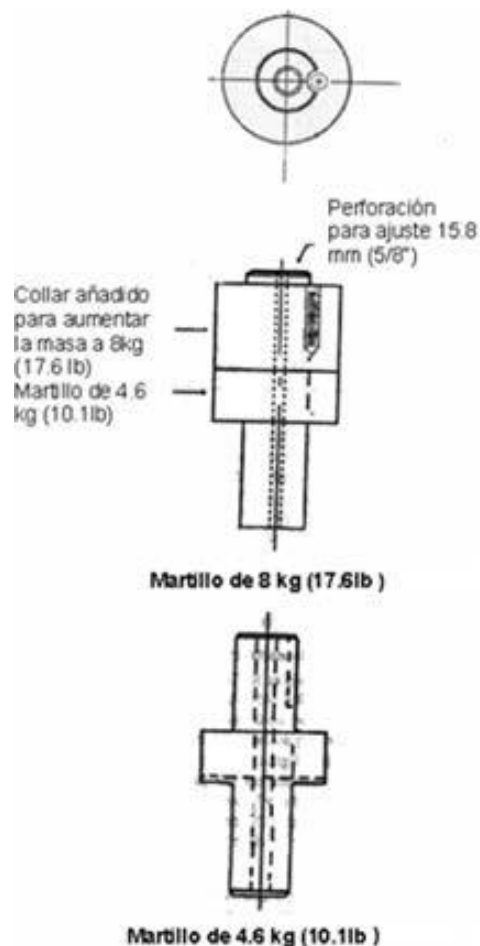


Figura 172 - 4. Esquema del martillo de doble masa

## 6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Verificación del equipo** – Antes de comenzar un ensayo, se debe inspeccionar el dispositivo PDC en las partes que pueden sufrir daños por fatiga, en particular en el ensamble y en la manija y se debe verificar que no exista un excesivo desgaste de la varilla ni del cono reutilizable. Todas las juntas deben ser ajustadas con seguridad, incluyendo el yunque de ensamble y el cono reutilizable (o el adaptador del cono desechable) a la varilla de ensayo.
- 6.2 Operación básica** – El operador sostiene el dispositivo a través de la manija en una posición vertical o a plomo, y levanta y libera el martillo, de manera que caiga a la altura especificada. El encargado de registrar la información, mide y registra la penetración total para un determinado número de golpes o la penetración por cada golpe.

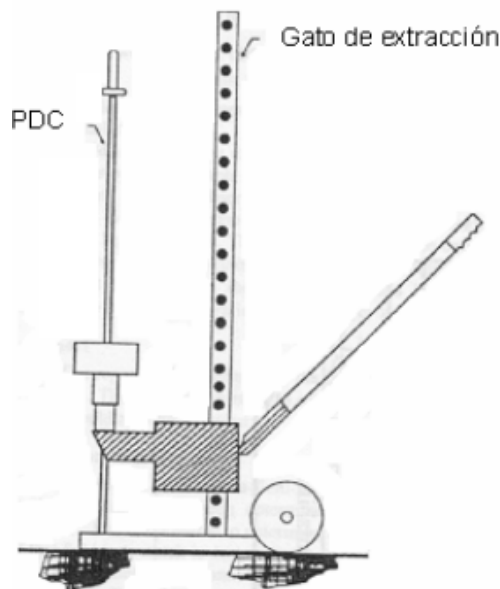


Figura 172 - 5. Esquema del gato extractor del PDC

### 6.3 Lectura inicial:

- 6.3.1 Ensayo de una capa superficial** – Se sostiene verticalmente el PDC y se asienta la punta de manera que la parte más ancha del cono se encuentre a nivel con la superficie del material a ser ensayado. En ese instante, se toma una lectura inicial de la varilla graduada o de la regla separada para la medición. La distancia se mide con aproximación a 1 mm (0.04"). Algunos accesorios deslizantes de referencia permiten a la



escala o a la varilla ser marcados con un "0" cuando el cono está en el punto cero mostrado en la Figura 172 - 2.

**6.3.2** *Ensayo bajo una capa ligada* – Cuando se ensayen materiales bajo una capa ligada, se debe utilizar un sacanúcleos que cumpla los requisitos indicados en el numeral 5.4.3, para efectuar un orificio hasta la capa que será ensayada. La toma de núcleos por vía húmeda requiere que el fluido utilizado sea removido y el ensayo PDC sea realizado lo más rápidamente posible, sin exceder de 10 minutos luego de completada la operación de la toma del núcleo. No se debe permitir que el líquido empleado durante la toma del núcleo sature o penetre el material que va a ser ensayado. Se debe utilizar un dispositivo de aspiración húmedo/seco o una alternativa adecuada apenas se termine de tomar el núcleo, para remover los materiales sueltos y los fluidos del orificio de acceso, antes de realizar el ensayo. Para minimizar la extensión de la perturbación que produce el sacanúcleos, el taladrado no debe atravesar completamente la capa ligada, sino que debe ser suspendido aproximadamente a 10 o 20 mm (0.4 a 0.8") del fondo de ella. Entonces, se emplea el PDC para penetrar la parte final, de la capa ligada. Este puede ser un proceso complementario entre el taladrado y la ejecución de los ensayos de PDC, para determinar el espesor de la capa.

**6.3.3** *Ensayo de pavimentos con sellos delgados* – Para pavimentos con sellos muy delgados, el cono es empujado a través del sello hasta que el punto cero (Ver Figura 172 - 2) se encuentre a ras con la capa superior de la capa a ser ensayada.

**6.3.4** Una vez que la capa a ser ensayada ha sido alcanzada, se toma una lectura de referencia con el punto cero en la parte superior de dicha capa y se registran los espesores de las capas que han sido tomadas mediante núcleos. Esta lectura de referencia es el punto a partir del cual se mide la penetración subsecuente.

#### **6.4** *Secuencia de ensayo:*

**6.4.1** *Caída del martillo* – El dispositivo PDC es sostenido en una posición vertical o a plomo. El operador levanta el martillo hasta que hace ligero contacto con la manija, pero sin golpearla. Entonces, se permite la caída libre del martillo, el cual impacta el yunque de ensamble. El número de golpes y las correspondientes penetraciones se van registrando como se describe en el numeral 6.5.

- 6.4.2** *Profundidad de penetración* – La profundidad de penetración variará de acuerdo con la aplicación que se va a dar a los resultados del ensayo. Para aplicaciones viales típicas, se considera adecuada una penetración inferior a 900 mm (35").
- 6.4.3** *Rechazo* – La presencia de partículas de gran tamaño o de un estrato rocoso puede conducir a la suspensión de la penetración o a doblar la varilla del aparato. Si luego de 5 golpes el aparato no ha avanzado más de 2 mm (0.08") o la manija se ha deflectado más de 75 mm (3") de su posición vertical, el ensayo se debe detener y el equipo se debe remover hacia otro punto de ensayo. La localización del nuevo punto de ensayo debe ser, por lo menos, a 300 mm (12") de la localización anterior, para minimizar el error causado por la perturbación del material.
- 6.4.4** *Extracción* – Una vez completado el ensayo, el penetrómetro debe ser extraído, utilizando el gato de extracción cuando se utilice un cono de tipo reutilizable. Cuando se utilice un cono de tipo desechable, el dispositivo se extrae dirigiendo el martillo hacia arriba y golpeándolo contra la manija.

## **6.5** *Registro de la información:*

- 6.5.1** Se sugiere el empleo de un formato como el de la Tabla 172 - 1 para el registro de los datos. El operador debe escribir la información del encabezado antes de realizar el ensayo. Los datos reales del ensayo se registran en la columna 1 (número de golpes) y en la columna 2 (penetración acumulada en mm); si se conoce el contenido de humedad, se deberá escribir en la columna 8. Cuando se ha ensayado una capa superficial a través de un orificio obtenido mediante taladrado, la primera lectura corresponde a la lectura de referencia en la parte superior de la capa a ser ensayada, como lo dice el numeral 6.3.4.
- 6.5.2** El número de golpes entre lecturas puede variar, dependiendo de la resistencia del material. Normalmente, se toman lecturas luego de un número fijo de golpes, por ejemplo, un golpe para suelos blandos, 5 golpes para materiales "normales" y 10 golpes para materiales muy resistentes. Se debe registrar la penetración aproximada al milímetro más cercano (0.04") para un número específico de golpes. Se debe tomar una lectura inmediatamente se detecte un cambio significativo

en las propiedades de los materiales o en la rata de penetración de la varilla.

## 7 CÁLCULOS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

- 7.1** EL CBR estimado in-situ se calcula utilizando el índice PDC (columna 6 de la Tabla 172 - 1) y una tabla como la Tabla 172 - 1, para cada juego de lecturas. La penetración por golpe puede ser dibujada, relacionándola con la profundidad (Figura 172 - 6). La penetración por golpe se emplea para estimar el CBR in-situ o la resistencia al corte, utilizando alguna correlación apropiada. Por ejemplo, en la Tabla 172 - 2 se incluyen las correlaciones obtenidas por diferentes autores y organismos reconocidos en diversas partes del mundo. La elección de una correlación apropiada es materia del buen juicio profesional. En razón de ello, el Instituto Nacional de Vías acepta cualquier fórmula determinada a partir de experiencias regionales, siempre que se encuentre debidamente sustentada y que su obtención haya sido confiable.

Tabla 172 - 2. Correlaciones entre el índice PDC (mm/golpe) y el CBR

AUTOR	CORRELACIÓN <sup>A</sup>	OBSERVACIONES
Kleyn y Van Heerden	$CBR = 428.5(PDC)^{-1.28}$	No aplica a suelos CL con CBR < 10, ni a suelos CH Aplica a suelos CL con CBR < 10 Aplica a suelos CH
TRL Overseas Road Note 8	$CBR = 302(PDC)^{-1.057}$	
Cuerpo de Ingenieros (USA)	$CBR = 292(PDC)^{-1.12}$	
	$CBR = 58.8(PDC)^{-2.0}$	
	$CBR = 348.3(PDC)^{-1.0}$	
MOPT Colombia (1992)	$CBR = 567.0(PDC)^{-1.40}$	

<sup>A</sup> En las correlaciones, el término PDC significa "índice PDC"

- 7.2** Si existen diferentes capas en el material ensayado, se observa un cambio en la pendiente de la gráfica que relaciona el número de golpes con la penetración acumulada (Figura 172 - 6). La interfaz exacta es difícil de definir porque, en general, siempre existe una zona de transición entre capas. El espesor de la capa puede ser definido por la intersección de las líneas que

representan las pendientes promedios de capas adyacentes. Una vez que los espesores de capas han sido definidos, se calcula la rata de penetración promedio por capa.

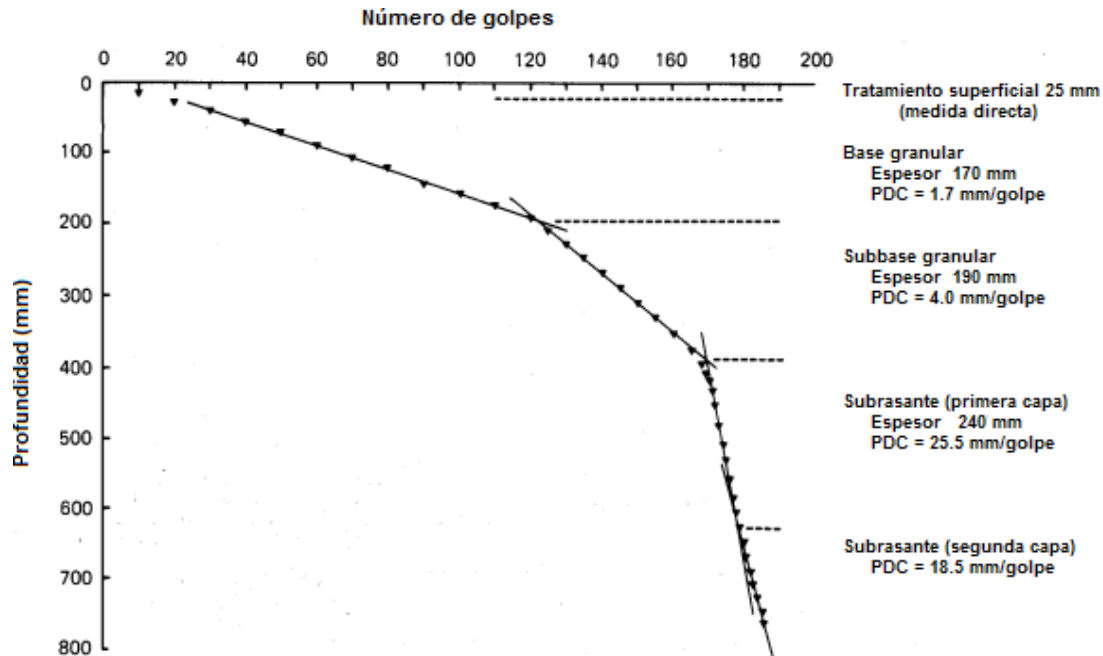


Figura 172 - 6. Resultado de un ensayo de penetrómetro dinámico de cono

## 8 INFORME

- 8.1** El informe deberá incluir toda la información que se muestra en la Tabla 172 - 1. También debe ser incluida en el informe, la relación utilizada para estimar el CBR in-situ.

## 9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – Se ha determinado que la desviación estándar de la repetibilidad en el campo y en el laboratorio es menor de 2 mm por golpe (0.08"/golpe). No es posible determinar los límites de reproducibilidad para este ensayo de campo, dado que el ensayo es destructivo por naturaleza y las muestras no son homogéneas y, por lo tanto, no se pueden replicar en el laboratorio ni en humedad ni en densidad.

*Nota 6: El estudio de repetibilidad es aplicable a materiales granulares y debería corresponder, aproximadamente, a un 20 % o menos si se expresa como porcentaje.*

- 9.2** *Sesgo* – A la fecha no existen informes sobre sesgo para este método de ensayo.

## **10 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 6951/6951M – 09