

**CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN PENETRÓMETRO DINÁMICO DE  
CONO PARA EL LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL**

**JOHN JAIRO ARBOLEDA ORDOÑEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2012**

**CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN PENETRÓMETRO DINÁMICO DE  
CONO PARA EL LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL**

**JOHN JAIRO ARBOLEDA ORDOÑEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
Ing. MIGUEL ANGEL GUDIÑO DAVILA, Mg.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2012**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**San Juan de Pasto, Octubre de 2012**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
2. MARCO TEORICO .....	19
2.1 ENSAYO DE C.B.R. ....	19
2.1.1 Generalidades .....	19
2.1.2 Ensayo de C.B.R. ....	19
2.1.3 Equipo necesario .....	21
2.1.4 Curvas de tensión – penetración .....	21
2.1.5 Razón de Soporte (CBR) .....	23
2.2 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA .....	25
2.2.1 Ensayo de penetración ligero o DPL .....	26
2.2.2 Ensayo de penetración pesado o DPH .....	26
2.2.3 Ensayo de penetración súper pesado o DPSH .....	28
2.2.4 CAMPOS DE APLICACIÓN .....	29
2.3 EL PENETROMETRO DINAMICO DE CONO LIGERO .....	32
2.3.1 Partes del penetrómetro .....	32
2.3.2 Procedimiento del ensayo con el penetrómetro dinámico de cono....	36
2.3.3 Evaluacion de los resultados del ensayo pdc .....	43
3. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PENETROMETRO DINAMICO DE CONO .....	47

4. ENSAYOS EN CAMPO .....	55
5. CONTRATIEMPOS Y MODIFICACIONES EN LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS .....	60
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	62
6.1 REPRESENTACION GRÁFICA .....	62
6.2 CORRELACION DEL PDC CON EL CBR .....	62
6.3. ANALISIS ESTADISTICO .....	66
6.3.1 Relación entre los ensayos pdc y el cbr .....	66
7. CONCLUSIONES .....	69
8. RECOMENDACIONES .....	70
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	71

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Puntaza del penetrómetro Borro .....	26
Figura 2. Esquema del PDC .....	34
Figura 3. Esquema del cono del PDC .....	35

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Corrección de Curvas Tensión-Penetración .....	22
Gráfica 2. Gráfica 2. Curva PDC .....	43
Gráfica 3. Diagrama estructural .....	44
Gráfica 4. Curva de balance estructural .....	45
Gráfica 5. Representación gráfica del ensayo PDC .....	46
Gráfica 6. Representación gráfica del CBR inalterado y la correlación del PDC .....	65
Gráfica 7. Relación entre ensayos PDC y CBR .....	67

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Pág.</b>
Fotografía 1. Punto cero para inicio del ensayo .....	36
Fotografía 2. Levantamiento del martillo .....	37
Fotografía 3. Caída del martillo .....	38
Fotografía 4. Profundidad de penetración .....	39
Fotografía 5. Extracción del PDC .....	40
Fotografía 6. Perfilado punta cónica de 60° .....	47
Fotografía 7. Taladrado del centro para rosca .....	48
Fotografía 8. Construcción del yunque para PDC .....	48
Fotografía 9. Roscado interno del yunque para PDC .....	49
Fotografía 10. Construcción de Martillo para PDC .....	49
Fotografía 11. Construcción de varillas para PDC .....	50
Fotografía 12. Roscado de varillas para PDC .....	50
Fotografía 13. Construcción de Tope para el PDC .....	51
Fotografía 14. Martillo terminado .....	51
Fotografía 15. Tope superior terminado .....	52
Fotografía 16. Yunque terminado .....	52
Fotografía 17. Varilla guía de martillo, regla y varilla de penetración terminadas .....	53
Fotografía 18. Manija de regla terminada .....	54

Fotografía 19. Punta cónica de 60° terminada .....	54
Fotografía 20. Equipo utilizado para la realizacion de los ensayos .....	54
Fotografía 21. Nivelacion del equipo .....	56
Fotografía 22. Elevacion del martillo .....	57
Fotografía 23. Martillo en su posicion final .....	57
Fotografía 24. Toma de medidad de profundidad de penetracion .....	57
Fotografía 25. Via Pasto- Mocoa K 32+ 500 .....	58
Fotografía 26. Via Pasto- Mocoa K 32+ 500 .....	58
Fotografía 27. Via Pasto- Mocoa K 37+ 000 .....	59
Fotografía 28. Via Pasto- Mocoa K 39+ 000 .....	59

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Valores de Carga Unitaria .....	20
Tabla 2. Energías de Compactación .....	20
Tabla 3. Clasificación de suelos para Infraestructura de Pavimentos .....	21
Tabla 4. Clasificación de suelos de acuerdo al CBR .....	23
Tabla 5. Formato de registro de datos del PDC .....	42
Tabla 6. Lista de resultados del ensayo PDC .....	64
Tabla 7: Ecuaciones de regresión .....	66
Tabla 8. Correlaciones y coeficiente R .....	67
Tabla 9: Lista de resultados .....	68

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Planos del penetrómetro dinámico de cono (PDC) .....	72
Anexo B. Representación gráfica de los resultados de los ensayos con el penetrómetro dinámico de cono .....	78
Anexo C. Resultados de los ensayos CBR .....	110

## GLOSARIO

**CAPACIDAD DE CARGA.-** Presión requerida para producir la falla de la cimentación por corte (sin factor de seguridad).

**CARGA ADMISIBLE.-** Sinónimo de presión admisible.

**CARGA DE SERVICIO.-** Carga viva más carga muerta, sin factores de ampliación.

**CARGA DE TRABAJO.-** Sinónimo de presión admisible.

**CBR (Relación de soporte):** Mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

**CIMENTACIÓN.-** Parte de la edificación que transmite al subsuelo las cargas de la estructura.

**ESTRATO TÍPICO.-** Estrato de suelo con características tales que puede ser representativo de otros iguales o similares en un terreno dado.

**ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS (EMS).-** Conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tienen por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las sollicitaciones estáticas y dinámicas de las obras de ingeniería.

**GEODINÁMICA EXTERNA.-** Conjunto de fenómenos geológicos de carácter dinámico, que pueden actuar sobre el terreno materia del Estudio de Mecánica de Suelos, tales como: erupciones volcánicas, inundaciones, huaycos, avalanchas, tsunamis, activación de fallas geológicas.

**LICUEFACCIÓN Ó LICUACIÓN.-** Fenómeno causado por la vibración de los sismos en los suelos granulares saturados y que produce el incremento de la presión del agua dentro del suelo con la consecuente reducción de la tensión efectiva. La licuación reduce la capacidad de carga y la rigidez del suelo. Dependiendo del estado del suelo granular saturado al ocurrir la licuación se produce el hundimiento y colapso de las estructuras cimentadas sobre dicho suelo.

**NIVEL FREÁTICO.-** Nivel superior del agua subterránea en el momento de la exploración. El nivel se puede dar respecto a la superficie del terreno o a una cota de referencia.

**PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (PDC):** El penetrómetro dinámico de cono es un instrumento simple ampliamente usado para la evaluación no destructiva del pavimento, así como para el control en la construcción.

**PRESIÓN ADMISIBLE.-** Máxima presión que la cimentación puede transmitir al terreno sin que ocurran asentamientos excesivos (mayores que el admisible) ni el factor de seguridad frente a una falla por corte sea menor que el valor indicado.

**PRESIÓN ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO.-** Presión que al ser aplicada por la cimentación adyacente a una estructura, ocasiona un asentamiento diferencial igual al asentamiento admisible. En este caso no es aplicable el concepto de factor de seguridad, ya que se trata de asentamientos.

**PRESIÓN DE CONTACTO.-** Carga transmitida por las estructuras al terreno en el nivel de cimentación incluyendo el peso propio del cimiento.

**PRESIÓN DE TRABAJO.-** Sinónimo de presión admisible.

**PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN.-** Profundidad a la que se encuentra el plano o desplante de la cimentación de una estructura. Plano a través del cual se aplica la carga, referido al nivel del terreno de la obra terminada.

**RELLENO.-** Depósitos artificiales de tierra con la que se llena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.

**ROCA.-** Material compuesto de uno o varios minerales como resultado final de los diferentes procesos geológicos. El concepto de roca no se relaciona necesariamente con la forma compacta o cohesionada; también las gravas, arenas, arcillas, o incluso el petróleo, son rocas.

**SUELO COLAPSABLE.-** Suelos que al ser humedecidos sufren un asentamiento o colapso relativamente rápido, que pone en peligro a las estructuras cimentadas sobre ellos.

**SUELO EXPANSIVO.-** Suelos que al modificar su contenido de humedad, tienen un cambio de volumen significativo. Presentan un aumento de volumen por mayor contenido de humedad y retracción por desecación, al reducir el contenido de humedad.

**SUELO ORGANICO.-** Suelo de color oscuro que presenta una variación mayor al 25% entre los límites líquidos de la muestra secada al aire y la muestra secada al horno a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.

## RESUMEN

Entre los procedimientos para la elaboración de ensayos completos y de bajo costo operativo se encontró el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), el cual mediante una serie de pruebas in-situ y bajo comparaciones en laboratorio con el ensayo del CBR, proporciona la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados.

La capacidad de soporte se determina con la profundidad de penetración por número de golpes, proceso que consta del hincado en el suelo de una punta cónica que tiene un ángulo de 60 grados, a través de una varilla sujeta a la acción de una pesa de 8 kilos la cual cae desde una altura de 57.5 centímetros y penetra en el suelo.

Sobre la base de una serie de pruebas y correlaciones se obtuvo, una curva de comparación, con la cual se pudo determinar ciertas características acerca del comportamiento de estos suelos, como su resistencia a la penetración teniendo a la mano solo los datos de PDC.

El instrumento PDC mide la penetración por golpe a través de las distintas capas que componen un pavimento. Esta proporción se denomina índice de penetración IP que es la relación entre la profundidad alcanzada sobre el número de golpes. Para obtener el IP se profundiza en el suelo un promedio de 900 mm con una serie golpes del martillo, con el IP se puede ir a la curva de comparación para poder determinar la correspondencia con el CBR de laboratorio para dicho suelo.

Se hizo un estudio de 21 puntos (uno cada 500 metros) con muestras de terreno inalteradas a las cuales se les realizó el ensayo de CBR y 61 puntos (uno cada 200 metros) a los que se les realizó el ensayo PDC para determinar las distintas resistencias del suelo a ser penetrado y con la correspondiente evaluación del ensayo PDC "in situ" se elaboró la curva de comparación para poder determinar su respectiva correlación.

## ABSTRACT

The procedures for the preparation of comprehensive testing and low operating cost, we find the trial of Dynamic Cone Penetration (PDC), which through a series of tests and insitu low in comparison with laboratory testing of the CBR, it gives us the carrying capacity of said layers of Base and Sub-Base.

The carrying capacity is determined by the depth of penetration by number of strokes, a process that consists of kneeling on the floor of a tapered tip through a rod under the action of a weight of 8 kilos which falls from a height 57.5 cm and penetrates the soil.

Based on a series of tests and correlations obtained, a curve for comparison with which we can identify certain characteristics about the behavior of these soils, as their resistance to penetration by having the data hand only PDC.

The instrument measures the PDC penetration blow through the various layers that make up a pavement. This proportion is called the IP penetration rate is the ratio of the depth reached on the number of strokes. To obtain the IP elaborates on the floor an average of 900 mm with a series of hammer blows, with the IP you can go to our curve compared to determine the correspondence with the CBR for the laboratory floor.

There was a study of 21 points (one every 500 meters) with samples of undisturbed land that can be performed CBR test and 61 points (one every 200 meters) to which the test was performed to assess the PDC resistance of soil to be penetrated and the following evaluation of the PDC test site we have developed the curve compared to determine their correlation.

## INTRODUCCIÓN

Es fundamental estudiar el comportamiento del suelo para ser usado como material de construcción o como base de sustentación de las obras de ingeniería.

La importancia del estudio del suelo radica en el hecho de que si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, produciendo a su vez deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo o desplomos que pueden producir, en casos extremos, el colapso de una obra o su inutilización y abandono.

En consecuencia, las condiciones del suelo como elemento de sustentación han de ser siempre observadas, aunque esto se haga en proyectos pequeños fundados sobre suelos normales a la vista de datos estadísticos y experiencias locales, y en proyectos de mediana a gran importancia o en suelos dudosos, infaliblemente, a través de una correcta investigación del comportamiento del suelo.

El crecimiento del tráfico y peso de los vehículos que transitan por las vías principales de las ciudades y carreteras, hace necesario de un amplio enfoque técnico en los estudios de suelos para el diseño de pavimentos, acorde con las necesidades creadas por el aumento de las repeticiones de carga.

Todo esto indica que es necesario adoptar estudios completos de las condiciones reales en las que se encuentra el suelo en el periodo de proyecto para planificar una programación de trabajos en el periodo de construcción que permitan obtener una estructura que soporte las condiciones previstas durante su vida útil.

La penetración medida es una función de la resistencia al corte “in situ” de los materiales y el perfil en profundidad, da una indicación de las propiedades de los materiales (en el lugar) de todas las capas de la estructura hasta la profundidad de penetración determinada.

Debido a esto, numerosos ingenieros recurren a los métodos indirectos tales como el CBR de laboratorio (para las condiciones de humedad y densidad existentes) el cual es básicamente un ensayo que mide la resistencia de una muestra de suelo a ser penetrada, esencialmente esfuerzo de corte.

El instrumento PDC mide la penetración por golpe a través de las distintas capas componentes de un pavimento. Esta penetración es función de la resistencia al corte in situ de los materiales del paquete estructural. El perfil en profundidad brinda por lo tanto, una indicación de las propiedades en el lugar de los materiales de los diferentes estratos componentes en las condiciones reales en que estos se encuentran en el momento del ensayo.

Despierta el interés en la ingeniería vial la utilización de equipos sencillos y confiables para la evaluación del suelo de fundación, como son los ensayos de penetración in situ. El empleo del PDC reúne las condiciones indicadas. Este equipo se puede construir en nuestra ciudad con personal y material de la región para luego realizar los estudios y poder establecer la correlación matemática entre el CBR in situ y el PDC, que permitirá evaluar las condiciones del terreno de las vías del departamento de Nariño.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Construcción y correlación con el CBR de un PDC para el laboratorio de suelos de ingeniería civil.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Construir el PDC de acuerdo a las medidas, pesos y materiales de la norma INVIAS I.N.V. E- 172 – 07.
- Realizar los ensayos de PDC en diferentes puntos de acuerdo a la normatividad vigente.
- Comprobar la correlación que existe entre el ensayo CBR y PDC según la norma INVIAS I.N.V. E- 172 – 07.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 ENSAYO DE C.B.R.

**2.1.1 Generalidades.** El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73.

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, materiales de sub-bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

Este ensayo puede realizarse tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado.

**2.1.2 Ensayo de C.B.R.** El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kilos/cm<sup>2</sup> (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado, la ecuación es la siguiente:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100$$

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación se relacionan en la Tabla 1:

Tabla1. Valores de Carga Unitaria

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm	Pulgada	Mpa	kg/cm2	psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar. A continuación, utilizando los métodos 2 o 4 de las normas ASTM D698-70 ó D1557-70 (para el molde de 15.5 cm de diámetro), se debe compactar muestras utilizando las energías de compactación que se relacionan en la Tabla 2:

Tabla 2. Energías de Compactación

	<b>Método</b>	<b>Golpes</b>	<b>Capas</b>	<b>Peso del martillo N</b>
D698	2 (suelos de grano fino)	56	3	24,5
	4 (suelos gruesos)	56	3	24,5
D1557	2 (suelos de grano fino)	56	5	44,5
	4 (suelos gruesos)	56	5	44,5

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases, subbases y subrasantes bajo

el pavimento de carreteras y aeropistas, la clasificación típica se relaciona en la Tabla 3:

Tabla 3. Clasificación de suelos para Infraestructura de Pavimentos

CBR	Clasificación general	usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	muy pobre	subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 - 7	pobre a regular	subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	regular	sub-base	OL,CL,ML,SC SM,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	bueno	base,subbase	GM,GC,W,SM SP,GP	A1b,A2-5,A3 A2-6
> 50	excelente	base	GW,GM	A1-a,A2-4,A3

### 2.1.3 Equipo necesario

- Prensa de ensayo
- Molde
- Disco espaciador
- Pisón
- Cargas
- Pistón de penetración
- Aparato para medir expansión

### 2.1.4 Curvas de tensión – penetración

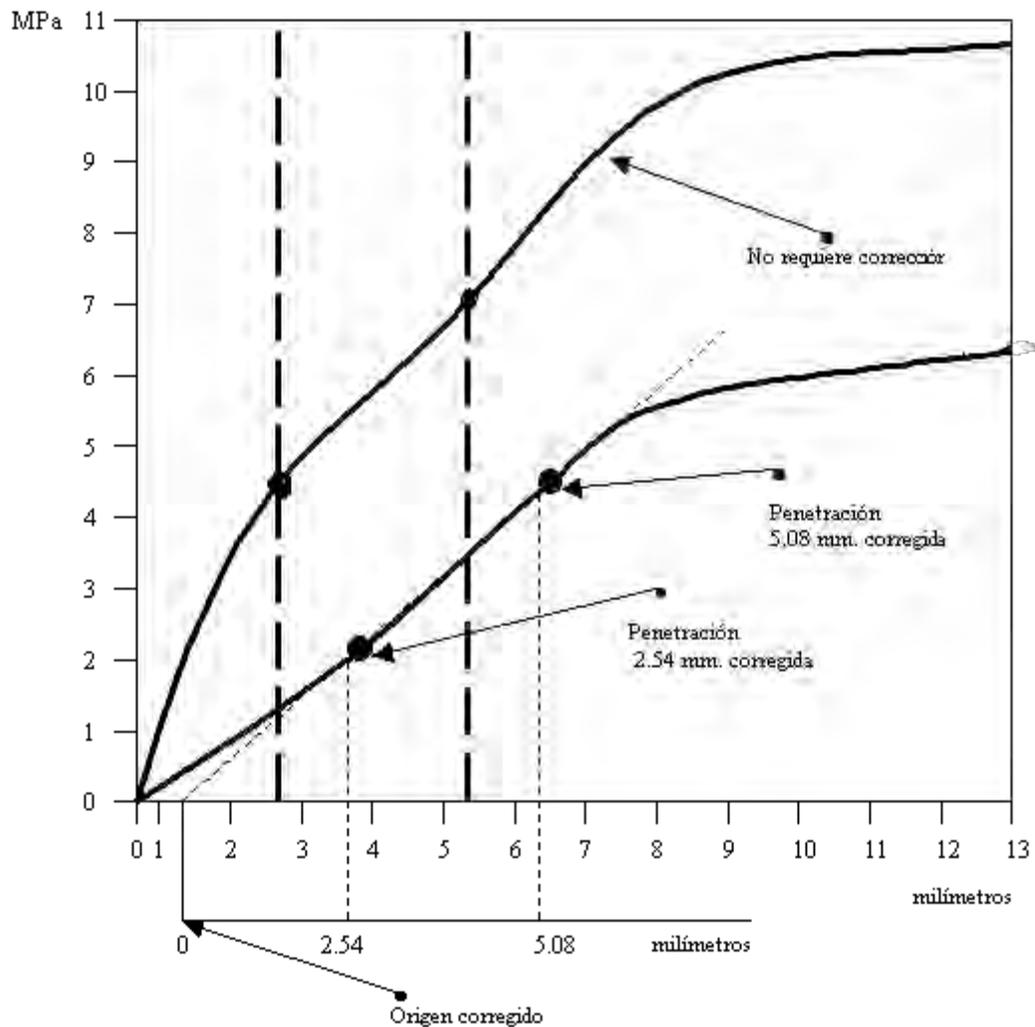
- Calcular las tensiones de penetración en Mega Pascales (MPa) o en (kg/cm<sup>2</sup>).

- Para ello se traza la curva en un gráfico tensión – penetración.

- La curva puede tomar, ocasionalmente, la forma cóncava hacia arriba debido a irregularidades de superficie u otras causas. En dichos casos el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que la tangente corta la abscisa.

- Obtener de la curva los valores de las tensiones necesarias para lograr una penetración de 0.1” y 0.2”. La gráfica 1 muestra la corrección de curvas Tensión - Penetración

Gráfica 1. Corrección de Curvas Tensión - Penetración



**2.1.5 Razón de Soporte (CBR).** El valor del CBR es la relación expresada en porcentaje entre la carga real, que produce una deformación establecida y la carga que se requiere para producir igual deformación en un material chancado y normalizado, se expresa por la relación:

$$\text{CBR} = \frac{P}{P_1} * 100$$

P : Carga obtenida en el ensayo

P1: Carga unitaria normalizada

Para los suelos del tipo A – 1; A – 2 – 4 y A – 2 – 6, la razón de soporte se calcula solo para 5 mm de penetración (0.2 pulgadas).

Para suelos del tipo A – 4; A – 5; A – 6 y A – 7, cuando la razón correspondiente a 5 mm es mayor que a 2,5 mm, confirmar el resultado, en caso de persistencia, la razón de soporte corresponderá a 5 mm de penetración.

Para suelos del tipo A – 3; A – 2 – 5 y A – 2 – 7, el procedimiento a aplicar queda al criterio del ingeniero.

Tabla 4. Clasificación del suelo de acuerdo al CBR

<b>CBR</b>	<b>CLASIFICACION</b>
0 - 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Subbase buena
50 – 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

Cuando se requiere conocer los efectos de preconsolidación natural, estructura de suelo, cementación natural, estratificación, que son aspectos que no pueden producirse con muestras remoldeadas de suelo ni con muestras supuestamente inalteradas que se ensayen en laboratorio, se recomienda efectuar el ensaye CBR in situ, siempre que el terreno natural esté en las condiciones más críticas en el momento de efectuar la prueba. El procedimiento que se sigue en esta prueba es similar al establecido en los ítems anteriores, con la diferencia que en este caso, la muestra no está confinada en un molde.

Es condición que en el lugar que se realice el ensayo no existan partículas superiores al tamiz 20 mm (3/4"). La preparación del terreno requiere enrasar y nivelar un área de 30 cm de diámetro, para posteriormente colocar las sobrecargas estipuladas<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> CURSO APLICADO DE CIMENTACIONES, JM. Rodríguez Ortiz, Jesús Serra, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid – COAM.

## 2.2 ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA

Consiste en una punta que es golpeada repetidamente para así penetrar en el suelo y conocer la resistencia de este a la penetración, dicha punta consta de un cono cuyo ángulo suele ser de entre 60 y 90 grados que suele ser denominado puntaza.

En un principio estos penetrómetros fueron concebidos para apreciar la compactación de los suelos sin cohesión, de los cuales era muy difícil tomar muestras inalteradas. Los resultados obtenidos se deben de tratar con mucho cuidado debido a que el suelo puede refluir por encima de la punta, por el agua intersticial en suelos poco permeables o por el rozamiento lateral.

El varillaje debe ser de diámetro inferior a la base para así evitar todo lo posible el rozamiento lateral del tren de varillas

El golpeteo es producido por la caída guiada de una masa de peso variable (según el tipo de penetrómetro), que golpea la cabeza de impacto y transmite el golpe a la punta del cono que va atravesando el terreno según su dureza.

Los ensayos de penetración dinámica permiten medir la resistencia a la penetración mediante la introducción de una puntaza de dimensiones normalizadas que se clava en el terreno por medio de dispositivos de percusión, midiendo el número de golpes realizados para un determinado avance.

Los ensayos de penetración dinámica, son ensayos de registro continuo que consisten en contabilizar el número de golpes necesarios para hincar tramos de varillaje de una longitud determinada. Los golpes son dados por una maza de peso conocido que cae libremente desde una altura constante.

Estos ensayos permiten una medida continua de la resistencia o deformabilidad del terreno, determinándose estas propiedades a través de correlaciones empíricas<sup>2</sup>.

Según el peso de la maza, la altura de caída y las dimensiones del varillaje y puntaza los ensayos de penetración dinámica se dividen en:

- Ensayo ligero o DPL.

---

<sup>2</sup> LOS ENSAYOS IN SITU EN LA MECÁNICA DEL SUELO, Maurice Casan, Editores Técnicos Asociados SA.

- Ensayo pesado o DPH.

- Ensayo superpesado o DPSH.

**2.2.1 Ensayo de penetración ligero o DPL.** Este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kilogramos, 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 puede ser estimada (Nota 1) si se conocen el tipo de suelo y su contenido de agua. El PDC descrito en este método de ensayo es típicamente utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimentos.

El penetrómetro dinámico de cono (PDC) es un dispositivo que penetra en el suelo para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados.

**2.2.2 Ensayo de penetración pesado o DPH.** El ensayo consiste en hacer penetrar una puntaza de 1,5 Kg de peso, de forma cuadrada, con 16 cm<sup>2</sup> de área con una punta cónica que forma un ángulo de 60° en el suelo mediante el golpeo a 50 cm de altura de una maza de 65kg de peso.

Se cuenta el número de golpes para hincar la puntaza en el terreno 20 cm de profundidad y de acuerdo con el número de golpes  $N_B$  que se han dado se podrá deducir la resistencia del terreno.

Este tipo de penetrómetro suele tener una serie de ranuras laterales en las cuales encaja el pasador del varillaje, de esta manera girando el varillaje se puede lograr apartar piedras que se encuentren por el recorrido.

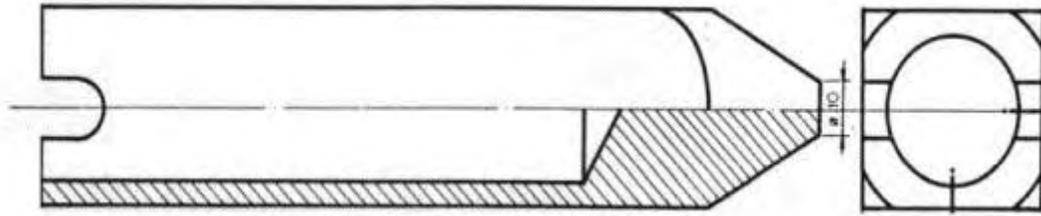
Este ensayo de penetración pesado se conoce habitualmente como ensayo de penetración dinámica tipo BORROS, por ser este el nombre de la casa comercial sueca que empezó a comercializarlo.

Se suele considerar que el penetrómetro Borro es equivalente en número de golpes al ensayo de penetración estándar con tomamuestras.

$$N_B = N$$

La figura 1 muestra un esquema de la punta del penetrómetro de borro.

Figura 1. Puntaza del penetrómetro Borro



Dicho penetrómetro está especialmente indicado para suelos granulares.

Su empleo permite determinar la resistencia a la penetración dinámica de un terreno, evaluar la compacidad de un suelo granular. Cuando el suelo contenga partículas de un tamaño superior a 6 mm que pueden obstaculizar la penetración del cono en el terreno, el resultado de la prueba puede no ser representativa. También investigar la homogeneidad o anomalías de una capa de suelo y comprobar la situación con detenimiento de una capa cuya existencia se conoce<sup>3</sup>.

### Descripción

El cono de penetración tiene un ángulo de 90 °, este puede ser tanto recuperable como perdido se encuentra unido al varillaje solidariamente sobre el que esta la cabeza de impacto que es la que recibe el golpe de una maza de 50 Kg aproximadamente.

Tipos de puntas: recuperable y perdida del dinámico.

Al estar descrito por las normas tiene unas dimensiones ya estipuladas para este tipo de penetrómetros, son las siguientes:

El dispositivo de golpeo consta de una maza de **50 kg +0,5 kg** de peso que cae desde una altura de caída de **50 cm**, en general todo el dispositivo de golpeo no

---

<sup>3</sup> EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO CON PENETRÓMETROS. Estado actual disponible en Internet. <http://ingenieriageologica.iespana.es/biblioteca/penetrometros.htm>

debe exceder de los 59 kg, aparte de estas características debe cumplir las siguientes condiciones:

Relación altura  $L_m$  al diámetro  $D_m$  en la maza es:  $1 < (L_m/D_m) < 2$

Cabeza de impacto Diámetro  $d_c$ :  $10 \text{ cm} < d_c < 0,5 D_m$

La longitud libre de varillaje entre el soporte guía y la conexión y el dispositivo de golpeo no supera los 1'2 m.

En este caso el medidor del par no tendrá una capacidad de medida inferior a 200 N.m con una graduación de 5 N.m.

Aparte de lo anteriormente explicado respecto de la finalización de la prueba existen una serie de especificaciones para este penetrómetro:

El número de golpes necesarios para una penetración de 10 cm se denominará  $N_{10}$  y cuando tres valores consecutivos de sean iguales o superiores a 75 golpes se dará por finalizada la prueba, también se dará por concluida cuando para 100 golpes únicamente se hayan avanzado 10cm y en caso de que el valor de rozamiento del par supere los 100 N.m.<sup>4</sup>

**2.2.3 Ensayo de penetración super pesado o DPSH.** Básicamente se utiliza un penetrómetro igual al pesado, cambiando únicamente los tamaños, maza empleada y otros parámetros que se comentaran aquí.

$N_{20}$  será el número de golpes necesarios para una penetración de 20 cm de profundidad

El dispositivo de golpeo consta de una maza de **63,5 Kg +0,5 Kg** de peso que cae desde una altura de caída de **76 cm**, en general todo el dispositivo de golpeo no debe exceder de los 115 Kg, aparte de estas características debe cumplir las siguientes condiciones:

---

<sup>4</sup> EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO CON PENETRÓMETROS. Estado actual disponible en Internet. <http://ingenieriageologica.iespana.es/biblioteca/penetrometros.htm>

Relación altura  $L_m$  al diámetro  $D_m$  en la maza es:  $1 < (L_m/D_m) < 2$

Cabeza de impacto Diámetro  $d_c$ :  $10 \text{ cm} < d_c < 0,5 D_m$

En este caso el medidor del par tendrá una capacidad de medida superior a 200 N.m con una graduación de 10 N.m.

Aparte de lo anteriormente explicado respecto de la finalización de la prueba existen una serie de especificaciones para este penetrómetro:

El número de golpes necesarios para una penetración de 20 cm se denominará  $N_{20}$  y cuando tres valores consecutivos de sean iguales o superiores a 75 golpes se dará por finalizada la prueba, también se dará por concluida cuando para 100 golpes únicamente se hayan avanzado 20cm y en caso de que el valor de rozamiento del par supere los 200 N.m.

En ambos penetrómetros se rellenaran una serie de fichas ya normalizadas y se dejara constancia de todas las paradas superiores a 5 minutos, de las perdidas de verticalidad del 5 % de penetraciones sin golpeo, obstrucciones temporales tipo de cono empleado longitudes de las varillas y también debe anotarse que cada metro de penetración debe medirse y anotarse el par necesario para girar el tren de varillaje una vuelta y media, el rozamiento no es muy significativo por debajo de  $10\text{N.m}^5$

## 2.2.4 Campos de aplicación

**2.2.4.1 Control constructivo.** El PDC provee un método con el cual la resistencia al esfuerzo cortante in situ puede ser monitoreada directamente, aún sólo para conocer la uniformidad de la capacidad resistente en una sección en un tiempo relativamente corto.

Un caso típico es cuando se requiere construir grandes rellenos en forma acelerada, lo que implica que las técnicas normales de control sean inefectivas por el tiempo que requieren (densidad de campo empleando el cono de arena).

---

<sup>5</sup> HOYOS D. (1991), "Ensayos de Penetración Estática y Dinámica en la Geotecnia Vial", Octavo Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, Popayán, Colombia.

Efectuando continuos ensayos con el PDC (monitoreo), se puede determinar áreas donde la compactación no es uniforme, posibilitando remediarlas inmediatamente con el incremento de la energía de compactación.

Asimismo, con el PDC se puede incrementar el número de auscultaciones en capas del pavimento construido, normalmente la resistencia del material es mayor que la encontrada en los ensayos de laboratorio (por ejemplo, CBR saturado), caso contrario la presencia de materiales sueltos y/o con exceso de humedad son sospechadas y deben ser analizadas.

**2.2.4.2 Eficiencia de equipos de compactación.** Cuando se desea investigar la efectividad de diferentes rodillos y/o técnicas de rodillado, el uso del PDC permite evaluar fácilmente las características in situ del compactado del material y proporciona información acerca de las deficiencias que puede presentar dicho proceso y además se puede sugerir cierto número de pasadas (prefijados) del rodillo. Posteriormente se comparan los Diagramas de Resistencia de Capas y se Analiza la eficacia del equipo y/o proceso de compactación frente a los pliegos especificados.

**2.2.4.3 Potencialidad de suelos colapsables.** El PDC es empleado en el material “in situ”, posteriormente un área (30cm. De radio) inmediata es inundada con agua y se efectúa otro ensayo cerca el ensayo anterior, dentro del área ahora saturada. Si la diferencia de resultados del ensayo es muy marcada es indicativo de la presencia de suelos colapsables o sensitivos, lo que garantiza llevar a cabo una evaluación más sofisticada<sup>6</sup>.

**2.2.4.4 Estudio de suelos para vías nuevas.** Cuando se desarrollan estudios de suelos para la apertura de nuevas vías, en la mayoría de los casos la topografía es accidentada, asimismo la vegetación existente no permite el desplazamiento adecuado de medios de transporte motorizado de apoyo, haciendo engorrosos los estudios, motivo por el cual mayormente los ingenieros toman muestras de materiales representativas para llevar a cabo los ensayos de resistencia en laboratorios. Dicho sistema tiene el inconveniente que en muchos de los casos, el número de muestras representativas es reducido y no reflejan las condiciones reales del campo.

---

<sup>6</sup> PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP). Estado actual disponible en Internet. [www.pavements.com/espanol/equipos/CSIR/dcp\\_es.htm](http://www.pavements.com/espanol/equipos/CSIR/dcp_es.htm)

El empleo del PDC permite efectuar una serie de ensayos de resistencia en “in situ” para evaluar el material de subrasante, los mismos que correlacionados con muestras representativas permitirán conocer con mayor detalle el comportamiento del mismo (por ejemplo, empleando métodos estadísticos) y definir adecuadamente el CBR de diseño para las condiciones climáticas de la zona en cuestión. Estudios desarrollados con vehículos simuladores de carga (peso y frecuencia) cuestionan la determinación del CBR saturado en laboratorio y dan mayor crédito a los obtenidos “in situ”, empleando el PDC.

Complementariamente, el PDC permite obtener parámetros de diseño de diferentes obras de arte de pequeña envergadura, así como parámetros para el análisis de estabilidad de taludes y localización de zonas de suelos blandos.

**2.2.4.5 Evaluación de pavimento.** Asimismo, es posible observar la evolución del comportamiento de un pavimento, efectuando las pruebas con el PDC cada cierto tiempo y en lo posible en diferentes estaciones climatológicas.

**2.2.4.6 Determinación indirecta del CBR in-situ.** El penetrómetro dinámico de cono brinda una respuesta satisfactoria a esta necesidad, tal como lo confirman los resultados de investigación efectuados en diversas partes del mundo.

El ensayo que se realiza de manera sencilla entre dos personas, consiste en medir con ayuda de una escala que la cantidad de milímetros que penetra la varilla para un determinado número de golpes de la masa, escogido de acuerdo con la resistencia de los estratos que se van presentando en cada penetración.

Para este estudio se eligió el Penetrómetro Dinámico de Cono de 8 kilogramos porque se utilizada para calcular el CBR in-situ por medio de la correlación adecuada; 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<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> PROCEDIMIENTOS DE SONDEOS, Jesús Puy, (1996).

## 2.3 EL PENETROMETRO DINAMICO DE CONO LIGERO

El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) mide la penetración dinámica por golpes, a través del terreno natural o suelo fundación, levemente cementados.

Es un método no destructivo capaz de medir la capacidad estructural in situ del suelo de fundación.

El equipo puede ser utilizado en: Identificación de tramos homogéneos, control de la construcción de las distintas capas de pavimento y determinación de la eficiencia de equipos de compactación, evaluación de un suelo colapsable, estabilidad de taludes etc.

Es un dispositivo utilizado para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados.

El modelo consta de una varilla de acero de penetración de 16mm. de diámetro.

En su extremo inferior un cono de acero temperado de 60 grados y 20mm. de diámetro.

El PDC es introducido en el suelo por un martillo deslizante de 8Kg que cae desde una altura de 575mm<sup>8</sup>.

**2.3.1 Partes del penetrómetro.** Según la Norma INV E-172-07 del Invias el PDC con martillo de 8 kilogramos que es objeto de esta tesis y que se muestra esquemáticamente en la figura 2. Está constituido por los siguientes elementos.

1. Una varilla de acero de 16 milímetros (5/8") de diámetro, con una punta cónica reutilizable o desechable, representada en la figura 3.
2. Un martillo de 8 kilogramos (17.6 lb) el cual es accionado desde una altura fija de 575 milímetros (22.6")
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").

---

<sup>8</sup> BLACK, C.A. (ed). Methods of soil analysis. Agronomy Monograph 9. Part 1. ASA, Madison, Wisconsin. USA 1965. 1180 p.

El aparato debe ser de acero inoxidable con excepción del cono, el cual puede ser de acero endurecido u otro material similar, resistente al desgaste.

Se deben cumplir las siguientes tolerancias:

1. La tolerancia en el peso del martillo de 8 kilogramos es 0.010 kg.
2. La tolerancia en el peso del martillo de 4.6 kg es 0.010 kg.
3. La tolerancia en la altura de caída de 575 mm es 1 mm.
4. La tolerancia en el ángulo de la punta del cono de 60° es 1°.
5. La tolerancia en la base de medida del cono de 20 mm es 0.25 mm<sup>9</sup>.

La figura 2 muestra el esquema general del PDC y la figura 3 muestra el esquema de la punta cónica del PDC.

---

<sup>9</sup> MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS. Estado actual disponible en Internet. [www.mopt.go.cr/planificacion/centrodeinformacion/CONTROL-VERIFICACION-KfW/NORMA%20DCP-695103.pdf](http://www.mopt.go.cr/planificacion/centrodeinformacion/CONTROL-VERIFICACION-KfW/NORMA%20DCP-695103.pdf)

Figura 2. Esquema del PDC

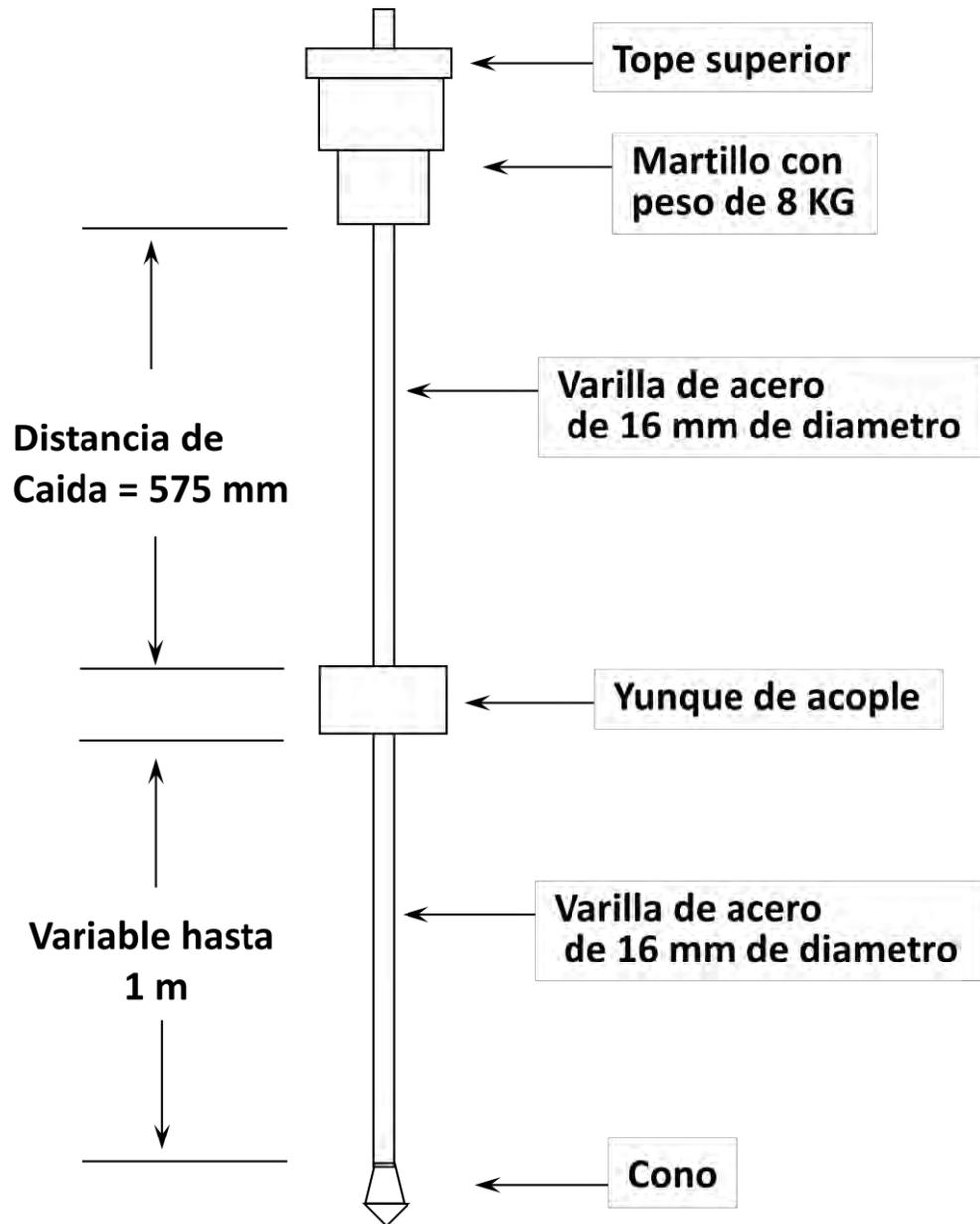
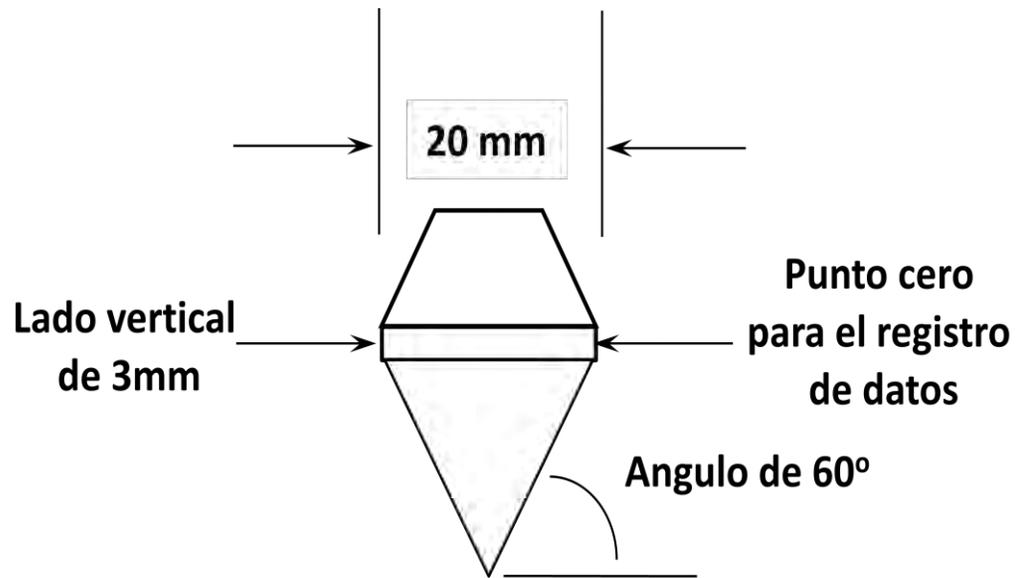


Figura 3. Esquema cono del PDC



### **2.3.2 Procedimiento del ensayo con el penetrómetro dinámico de cono**

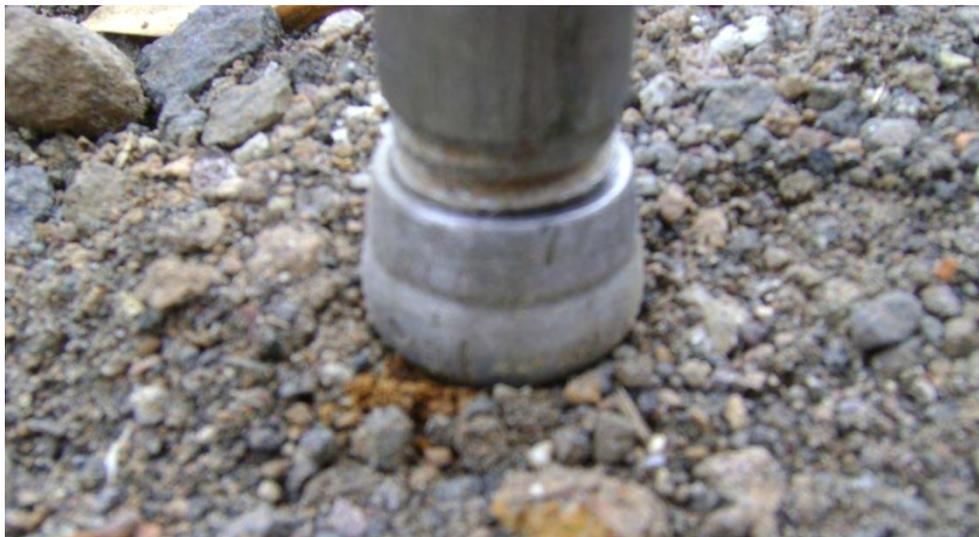
**2.3.2.1** Verificación del equipo – Antes de comenzar un ensayo, el dispositivo PDC debe ser inspeccionado en las partes que pueden sufrir daños por fatiga, en particular en el ensamble y en la manija y se debe verificar que no exista un excesivo desgaste de la varilla ni del cono reutilizable. Todas 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.

**2.3.2.2.** 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.

#### **2.3.2.3. Lectura inicial**

**2.3.2.3.1.** Caso de ensayo de una capa superficial – El PDC es sostenido verticalmente y la punta es asentada de tal 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. El punto cero se observa en la fotografía 1.

Fotografía 1. Punto cero para inicio del ensayo.



#### 2.3.2.4. Secuencia de ensayo

**2.3.2.4.1. 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 la Tabla 5. El levantamiento del martillo se observa en la fotografía 2 y su respectiva caída en la fotografía 3.

Fotografía 2. Levantamiento del martillo.



Fotografía 3. Caída del martillo.



**2.3.2.4.2. Profundidad de penetración** – La profundidad de penetración variará con la aplicación.

Para aplicaciones típicas viales, una penetración inferior a 900 mm (35") se considera generalmente adecuada. La profundidad de penetración se observa en la fotografía 4.

Fotografía 4. Profundidad de penetración.



**2.3.2.4.3. 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.

**2.3.2.4.4. Extracción** – Una vez completado el ensayo, el penetrómetro se extrae dirigiendo el martillo hacia arriba y golpeándolo contra la manija. La extracción del PDC se muestra en la fotografía 5.

Fotografía 5. Extracción del PDC.



**2.3.2.5. Registro de la información** - Se sugiere el empleo de un formato como el de la Tabla 5 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.

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 a 1 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<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> GARCÍA H. Y GUTIÉRREZ J. (1987), “La Aplicación del Penetrómetro Dinámico para Determinar Propiedades de Resistencia In-situ de Capas de Pavimentos y Subrasante”, Dirección de Estudios Especiales, Dirección General de Caminos, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 5. Formato de registro de datos del PDC

Proyecto: El Encano – Mocoa				Fecha: Julio 7 de 2010			
Localización: K32+520				Personal: JYS CONSTRUCTORES			
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 0				Peso del martillo: 8 kg			
Clasificación del material: GW/CL				Tiempo: Predicción 19° C			
Condición del pavimento: No aplica				Nivel freatico: Desconocido			
1	2	3	4	5	6	7	8
Número de golpes (A)	Penetración acumulada en mm (B)	Penetración entre lecturas en mm (C)	Penetración por golpe en mm (D)	Factor del martillo (E)	Índice PDC en mm/glp (F)	CBR % (G)	Humedad % (H)
0		2		1	0	0	
5	25	25	5	1	5	48	
5	55	30	6	1	6	39	
15	130	75	5	1	5	48	
10	180	50	5	1	5	48	
5	210	30	6	1	6	39	
5	235	25	5	1	5	48	
10	285	50	5	1	5	48	
5	315	30	6	1	6	39	
5	345	30	6	1	6	39	
5	380	35	7	1	7	33	
5	440	60	12	1	12	18	

Donde:

A - Número de golpes del martillo entre lecturas.

B - Penetración acumulada luego de cada serie de golpes.

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

D - C/A

E - Colocar "1" si el martillo es de 8 kg y "½" si el martillo es de 4.6 kg

F - D x E

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

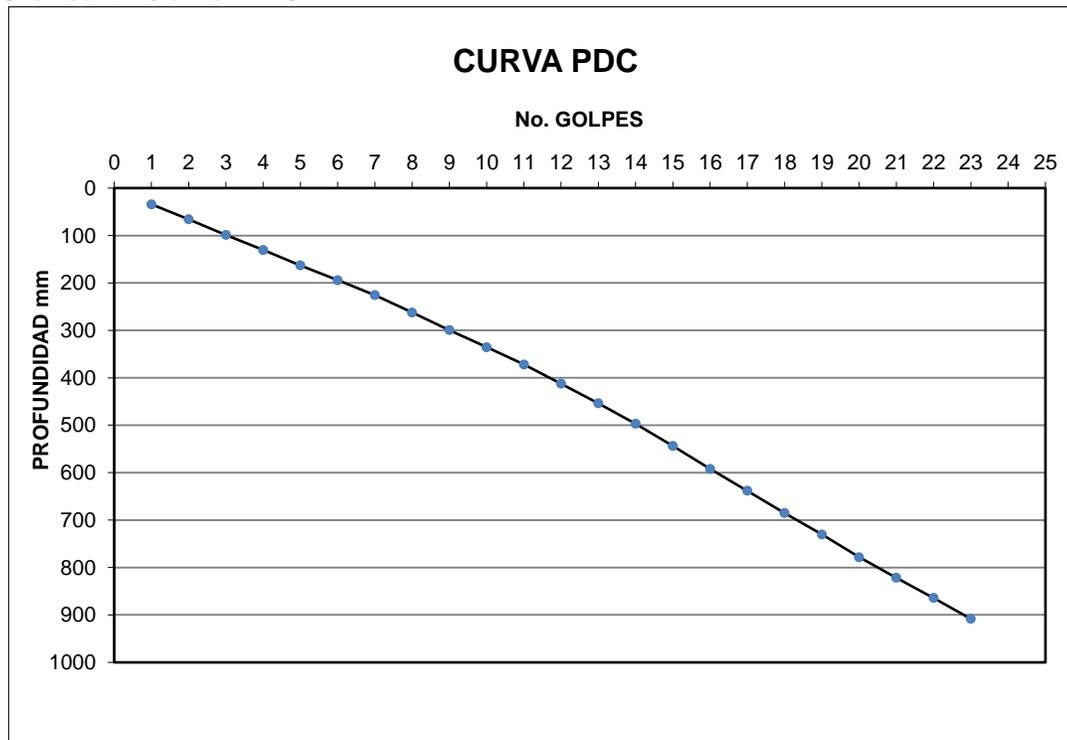
H - Porcentaje de agua (cuando se disponga del dato)<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO CON PENETRÓMETROS. Estado actual disponible en Internet. <http://ingenieriageologica.iespana.es/biblioteca/penetrometros.htm>

### 2.3.2 Evaluación de los resultados del ensayo PDC

**2.3.3.1 Número de golpes vs profundidad o curva PDC** - Consiste en una representación del progreso de la penetración del equipo a través de la estructura del suelo a las diferentes profundidades. En la gráfica 2 las ordenadas indican las profundidades hasta los 1000 mm. Y en las abscisas el número acumulado de golpes para alcanzar dichas profundidades. La curva PDC se muestra en la gráfica 2.

Gráfica 2. Curva PDC



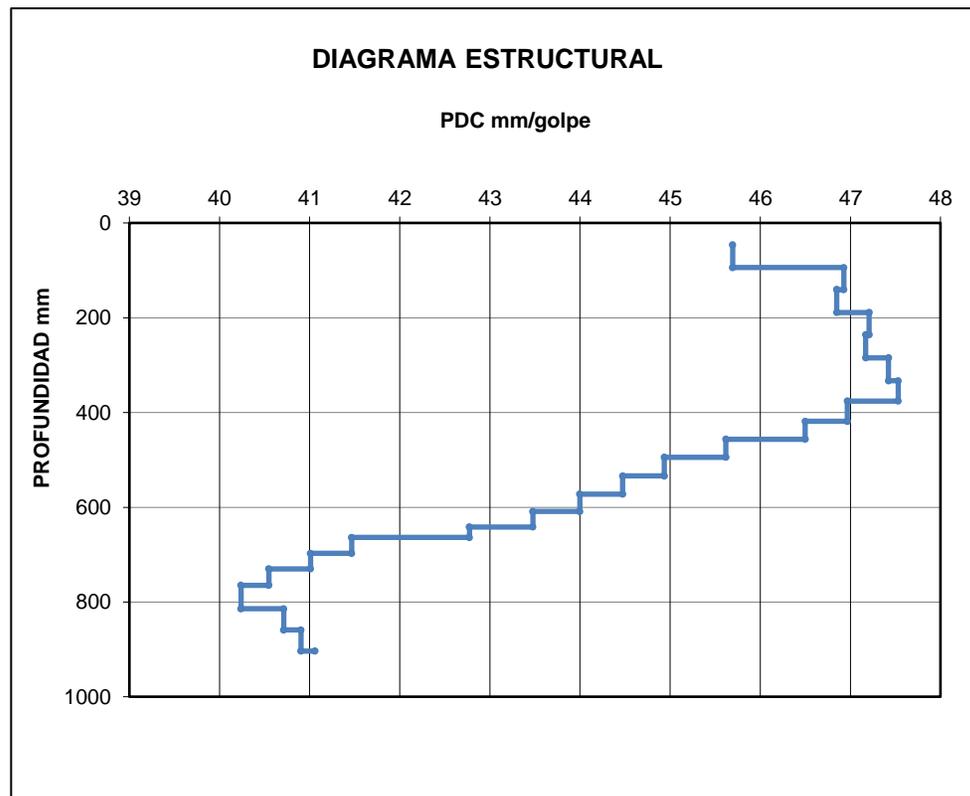
**2.3.3.2. Diagrama estructural** - Relaciona el número de PDC con la profundidad. El número PDC (DN) se define como la penetración del penetrómetro a través de una capa específica medida en mm/golpe.

Ejemplo:

$$DN = \frac{20\text{mm}}{2 \text{ golpes}} = 10\text{mm/golpe}$$

La constancia en dicho número implica uniformidad en el material. Y su variación indica modificaciones en las características de humedad, densidad o bien un cambio de estrato de suelo. Este tipo de evaluación puede mostrar el cambio que puede adoptar un suelo cuando se estabiliza o la sectorización del tramo en estudio. Si se presentara el caso de variaciones continuas se traza una recta vertical, de tal manera se mantenga el promedio en el espesor de una capa. El diagrama estructural se muestra en la gráfica 3.

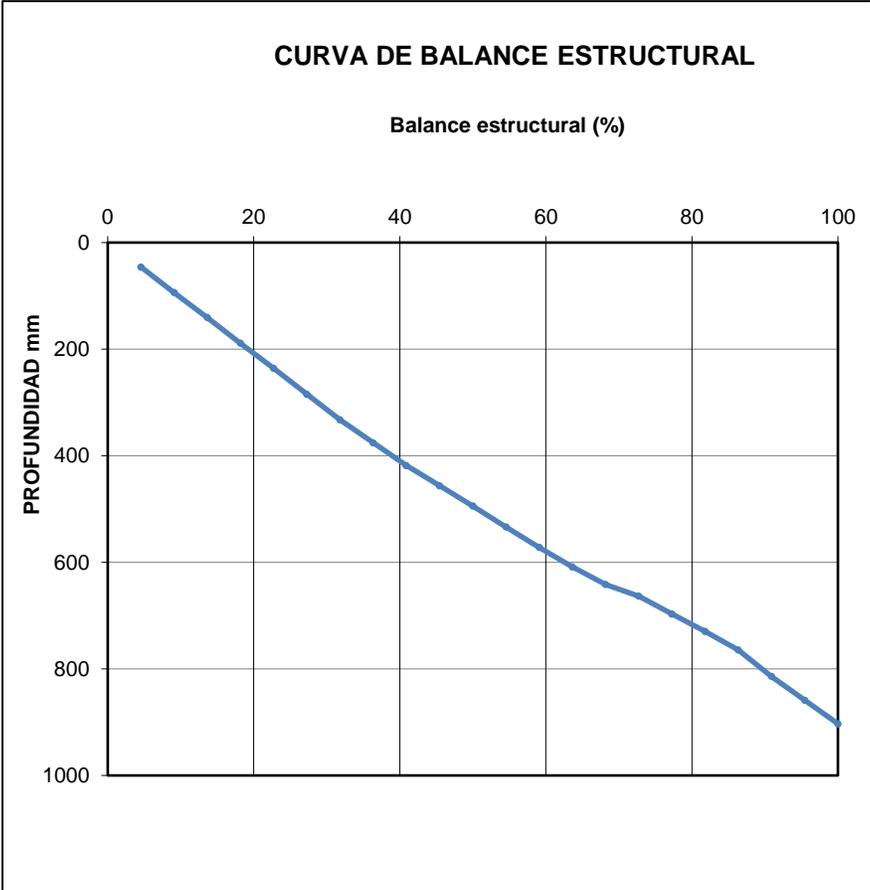
Gráfica 3. Diagrama estructural.



**2.3.3.3. 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. Normalmente la capacidad de soporte de un pavimento decrece con la profundidad y si dicha disminución es uniforme se considera que el pavimento se encuentra estructuralmente equilibrado<sup>12</sup>. La curva de balance estructural se muestra en la gráfica 4.

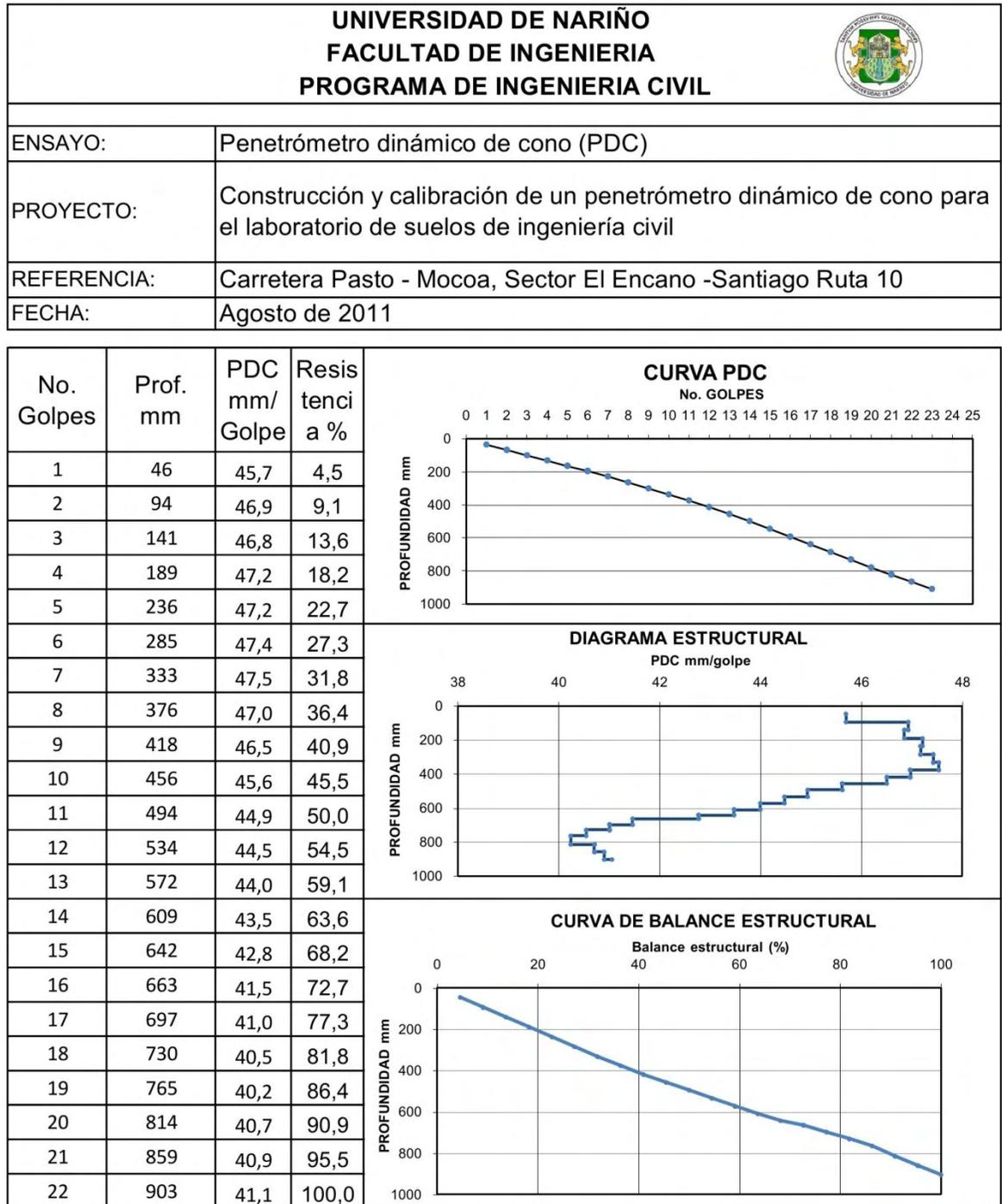
<sup>12</sup> ANGELONE S., TOSTICARELLI J. Y MARTÍNEZ F. (1990), "El Penetrómetro Dinámico de Cono. Su aplicación al Control y Diseño Estructural de Pavimentos", 6° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.

Gráfica 4. Curva de balance estructural.



**2.3.3.4. Representación gráfica de los ensayos** - La gráfica 5 muestra la representación de los ensayos:

Gráfica 5. Representación gráfica del ensayo PDC.



### 3. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PENETROMETRO DINAMICO DE CONO

Para la construcción Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica, se elaboraron planos de acuerdo a las especificaciones y normas ASTM D 6951 – 03 y norma INV E 172-07 del INVIAS (Anexo A).

En las fotografías de la 6 a la 19 se muestra el proceso para la elaboración del PDC:

- **Construcción punta cónica de 60° en acero 4340.**

El procedimiento que se observa en la fotografía 6, se llama cilindraje y consiste en ir perfilando la pieza de acero hasta cumplir las especificaciones deseadas, en este caso la punta cónica tiene como diámetro 20 mm y un ángulo de 60°.

Fotografía 6. Perfilado punta cónica de 60°.



Luego se taladra el centro para hacer la rosca donde ira la varilla correspondiente.

Fotografía 7. Taladrado del centro para rosca.



Fotografía 8. Construcción del yunque para PDC.



Fotografía 9. Roscado interno del yunque para PDC.



Fotografía 10. Construcción de Martillo para PDC.



Fotografía 11. Construcción de varillas para PDC.



Fotografía 12. Roscado de varillas para PDC.



Fotografía 13. Construcción de Tope para el PDC.



Fotografía 14. Martillo terminado.



Fotografía 15. Tope superior terminado.



Fotografía 16. Yunque terminado.



Fotografía 17. Varilla guía de martillo, regla y varilla de penetración terminadas.



Fotografía 18. Manija de regla terminada.



Fotografía 19. Punta cónica de 60° terminada.



#### 4. ENSAYOS EN CAMPO

Los ensayos se realizaron en la carretera Pasto - Mocoa, en el sector El Encano - Santiago desde el K30+000 hasta el k40+000. Se realizaron 21 ensayos, cuyo registro de campo se puede observar en el anexo 1 y el registro fotográfico se muestra de la fotografía 20 a la 28.

- **ENSAYOS EN LA VIA (K30 + 000 – K40+ 000)**

Estos ensayos se realizaron al borde de la vía, intercalando los bordes izquierdo y derecho, primero se identificaba la abscisa para que correspondiera con el lugar donde se tomo el ensayo CBR inalterado, después se escogía un lugar con menor cantidad de rocas visibles para que el ensayo no fuera a dar rechazo por alguna piedra y que no fuera a estar a mas de 1 metro de la margen de la carretera para así obtener un valor representativo de la resistencia a la penetración en el terreno de la vía. Luego se verificaba que el equipo estuviera en buenas condiciones para el ensayo es decir, que no exista un excesivo desgaste del cono reutilizable, también que todas las juntas estuvieran ajustadas con seguridad incluyendo el yunque de ensamble y el cono reutilizable (o el adaptador del cono desechable) a la varilla de ensayo. Después se ubica el PDC lo mas vertical posible y se procede a iniciar el ensayo llevando el martillo hasta el tope superior y dejándolo caer libremente. Se registraban los datos hasta una profundidad de 900 mm en promedio y en el caso que no hubiera dado rechazo por alguna roca que impedía profundizar en el terreno se proseguía con el siguiente ensayo. En caso contrario se extraía el PDC y se repetía el sondeo en un nuevo punto de ensayo que por lo menos este a 300 mm distancia de la localización anterior, para minimizar el error causado por la perturbación del material.

Fotografía 20. Equipo utilizado para la realización de los ensayos.



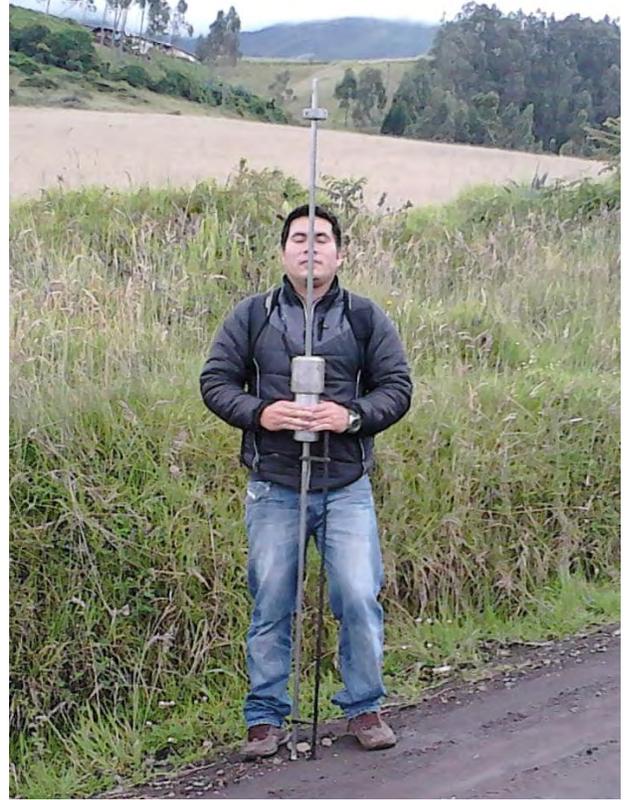
Fotografía 21. Nivelación del equipo



Fotografía 22. Elevacion del martillo.



Fotografía 23. Martillo en su posición final.



Fotografía 24. Toma de medida de profundidad de penetracion.



Fotografía 25. Via Pasto- Mocoa K 32+ 500



Fotografía 26. Via Pasto- Mocoa K 32+ 500



Fotografía 27. Via Pasto- Mocoa K 37+ 000



Fotografía 28. Via Pasto- Mocoa K 39+ 000



## **5. CONTRATIEMPOS Y MODIFICACIONES EN LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS**

Durante la realización de los ensayos ocurrieron diferentes contratiempos que de una u otra manera obstaculizaban un óptimo desempeño del equipo los cuales se corrigieron de la siguiente manera:

- **EL EQUIPO ERA DEMASIADO LARGO PARA UN TRANSPORTE COMODO**

Inicialmente se construyó el PDC en una sola pieza pensando en una mayor resistencia y durabilidad pero su longitud de más de 2 metros hacia demasiado engorroso su transporte lo que dificultaba el acceso a terrenos escabrosos y se supone que el PDC se correlaciona con el CBR para utilizarlo en terrenos de difícil acceso para un reconocimiento rápido de la resistencia IN SITU.

Este inconveniente se solucionó volviendo a diseñar el PDC desarmable, con un sistema de roscado en la varillas, el martillo y el yunque, lo que disminuía su longitud a la mitad estando desarmado, y hacia su transporte mucho más fácil porque ahora se podía distribuir el peso en varias personas, cada una que llevara una parte del equipo. En el momento de realizar el ensayo se armaba con facilidad y una vez terminado en estudio se podía volver a desarmar para nuevamente transportarlo.

- **LA PUNTA CONICA NO ERA DESECHABLE**

Después de haber hecho desarmable el PDC la punta cónica había sido soldada junto con la varilla de penetración lo que solo permitió realizar 9 ensayos y al tropezar con una roca en el ensayo número 10 y debido a la inexperiencia se dobló la punta del cono, lo que impidió seguir realizando ensayos, debido a este inconveniente se decidió utilizar puntas desechables, se construyó un sistema de roscado en la varilla y la punta se hizo hueca con rosca interna lo que permitía cambiarla por una nueva cada vez que el cono perdiera su la punta, sin tener que cambiar toda la varilla.

- EL MARTILLO NO TENIA UNA FORMA ERGONOMICA.

El martillo inicialmente tenía una forma totalmente cilíndrica y uniforme, por lo que la falta de una superficie de agarre y su peso sumado al sudor de las manos debido a las repeticiones de subirlo hacia muy difícil su agarre, así que se decidió darle una forma que permitiera su agarre con mayor facilidad. Se procedió a darle un radio más estrecho en la parte de abajo, para que la parte superior actuara como agarradera cuanto se sujetaba para elevarlo y así se soluciono el problema. Cabe aclarar que también se tuvo se aumentar el radio de la parte superior para compensar la pérdida de masa debido a la disminución de la parte inferior.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1 REPRESENTACION GRAFICA

El ensayo del PDC cubre la medida de la rata de penetración del penetrómetro dinámico de cono con un martillo de 8 kilogramos, es decir la profundidad a la que penetra con cada golpe del martillo, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La rata de penetración o índice PDC (mm/golpe) puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (California Bearing Ratio). El PDC descrito en este método de ensayo es típicamente utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimentos.

La representación gráfica de los 21 ensayos que se llevaron a cabo en la vía Pasto - Mocoa, en el sector El Encano - Santiago del K30+000 al K40+000 se pueden observar en el Anexo 2.

En el borde izquierdo se realizaron 11 ensayos, desde el tramo K30+000 al K40+ cada 1000 m.

En el borde derecho se realizaron 10 ensayos, desde el tramo K30+000 al K40+ cada 1000 m.

Para la correlación con el CBR se tomaron muestras inalteradas en cada punto que se hizo el ensayo PDC la representación gráfica de estos ensayos se puede observar en el Anexo 3.

Los ensayos CBR fueron suministrados por el laboratorio de suelos INGEPAVI con NIT: 900211323-4 localizado en la ciudad de Pasto en la Carrera 33A N° 6-59 Barrio San Vicente, el profesional encargado de los ensayos fue la geotecnóloga Carmen Eugenia Hoyos.

### 6.2 CORRELACION DEL PDC CON EL CBR

Para correlacionar el PDC con el CBR se tomo como referencia la norma INVIAS I.N.V. E – 172 – 07 donde la penetración por golpe se emplea para estimar el CBR in-situ o la resistencia al corte, utilizando la siguiente fórmula:

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

Para suelos que clasifiquen como CL y tengan un CBR inferior a 10 y los suelos CH, la norma INVIAS I.N.V. E – 172 – 07 recomienda las siguientes expresiones:

Suelos tipo CL con CBR < 10:

$$CBR = \frac{1}{(0.017019 * PDC)^2}$$

Suelos CH:

$$CBR = \frac{1}{0.002871 * PDC}$$

La fórmula que se utilizó para este estudio fue:

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

Debido a que el tipo de suelo en donde se realizaron los ensayos estaba compuesto de arenas arcillosas, mezclas arcilla-arena sin calibrar que clasifica como suelo SC.

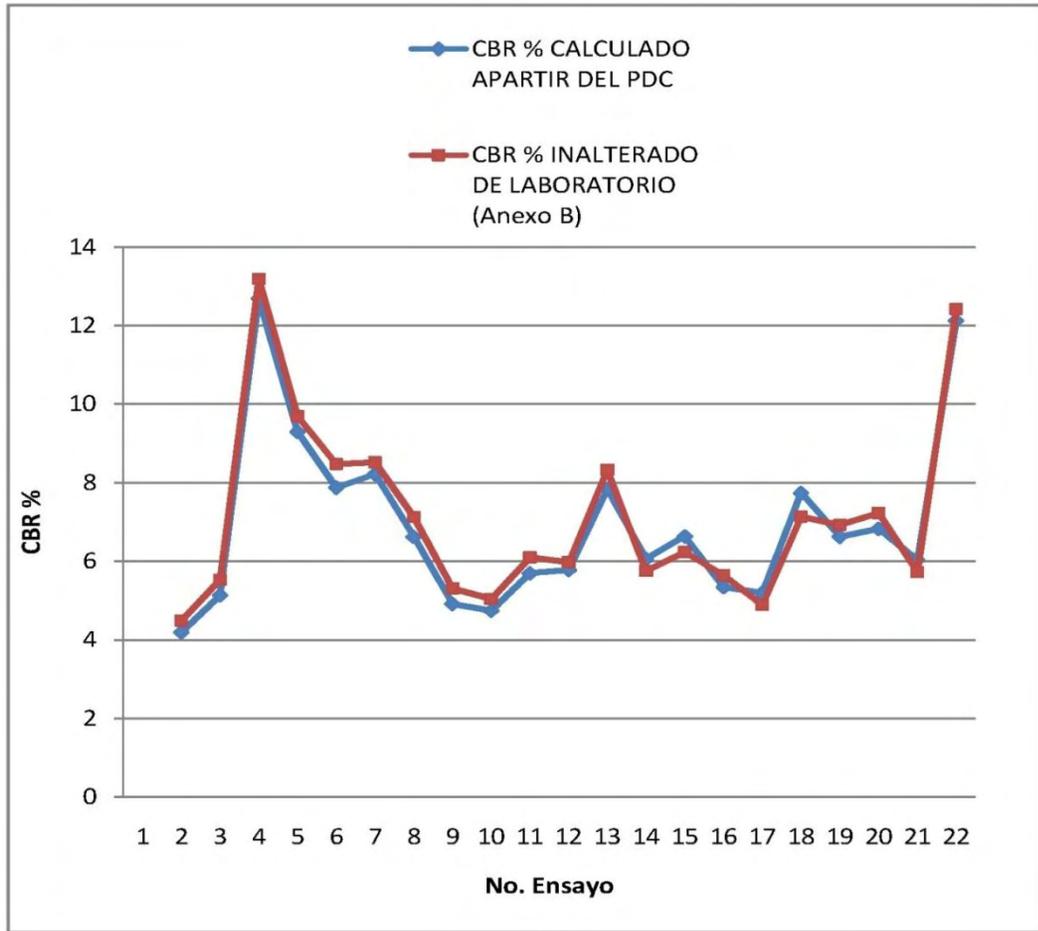
Los resultados obtenidos se observan a continuación en la tabla 6:

Tabla 6: Lista de resultados.

Nº Ensayo	Referencia	Borde de la via	Índice PDC (mm/golpe) (Anexo A)	CBR % CALCULADO APARTIR DEL PDC	CBR % INALTERADO DE LABORATORIO (Anexo B)	Tipo de suelo
1	K 30+000	IZQUIERDO	44	4,2	4,5	Suelo fino color pardo
2	K 30+500	DERECHO	37	5,1	5,5	
3	K 31+000	IZQUIERDO	16	12,7	13,2	
4	K 31+500	DERECHO	22	9,3	9,7	
5	K 32+000	IZQUIERDO	25	7,9	8,5	
6	K 32+500	DERECHO	24	8,2	8,5	
7	K 33+000	IZQUIERDO	29	6,6	7,1	Suelo fino color gris
8	K 33+500	DERECHO	38	4,9	5,3	
9	K 34+000	IZQUIERDO	40	4,7	5,0	
10	K 34+500	DERECHO	34	5,7	6,1	
11	K 35+000	IZQUIERDO	33	5,8	6,0	
12	K 35+500	DERECHO	25	7,8	8,3	Suelo fino color amarillo
13	K 36+000	IZQUIERDO	32	6,1	5,8	
14	K 36+500	DERECHO	29	6,6	6,2	
15	K 37+000	IZQUIERDO	36	5,3	5,6	
16	K 37+500	DERECHO	37	5,2	4,9	
17	K 38+000	IZQUIERDO	26	7,7	7,1	Suelo fino color gris
18	K 38+500	DERECHO	29	6,6	6,9	
19	K 39+000	IZQUIERDO	29	6,8	7,2	
20	K 39+500	DERECHO	32	6,0	5,7	
21	K 40+000	IZQUIERDO	17	12,1	12,4	

En la gráfica 6 se puede observar los resultados de la correlación del número dinámico y el valor de C.B.R para los diferentes apiques realizados para el diseño.

Gráfica 6. Representación gráfica del CBR inalterado y la correlación del PDC.



En la anterior gráfica se puede observar que la correlación presenta valores próximos los cuales, son similares a los resultados obtenidos mediante el ensayo de C.B.R inalterado.

Concluyendo así que la correlación de la norma INVIAS I.N.V. E – 172 – 07:

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

### 6.3. ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis estadístico de la relación entre el PDC y el CBR, se calculó un índice definido como milímetros de penetración en cada golpe, índice IP.

En la determinación de las distintas curvas de relación entre los índices PDC y el CBR y cada una de las variables, se utilizaron los siguientes tipos de tendencia, en cada uno de los cuales se calcula por el método de los mínimos cuadrados, el ajuste de los puntos a una curva representada por una ecuación de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 7: Ecuaciones de regresión.

REGRESIÓN	ECUACIÓN
Exponencial	$y = e^{bx}$
Lineal	$y = mx + b$
Logarítmica	$y = c\ln(x) + b$
Polinómica (Grado 2 a 6)	$y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots c_nx^n$
Potencial	$y = cx^b$

Además en cada una de las regresiones calculadas se determinó el coeficiente de correlación R para evaluar la correlación entre los datos de entrada y la ecuación de la línea determinada.

**6.3.1 Relación de ensayos pdc y el cbr.** Para este análisis se partió de una base de 21 ensayos, con el fin de estimar el CBR a partir del índice PDC.

En la tabla 8 se muestran las correlaciones encontradas a partir de las regresiones propuestas:

Tabla 8. Correlaciones y coeficiente R.

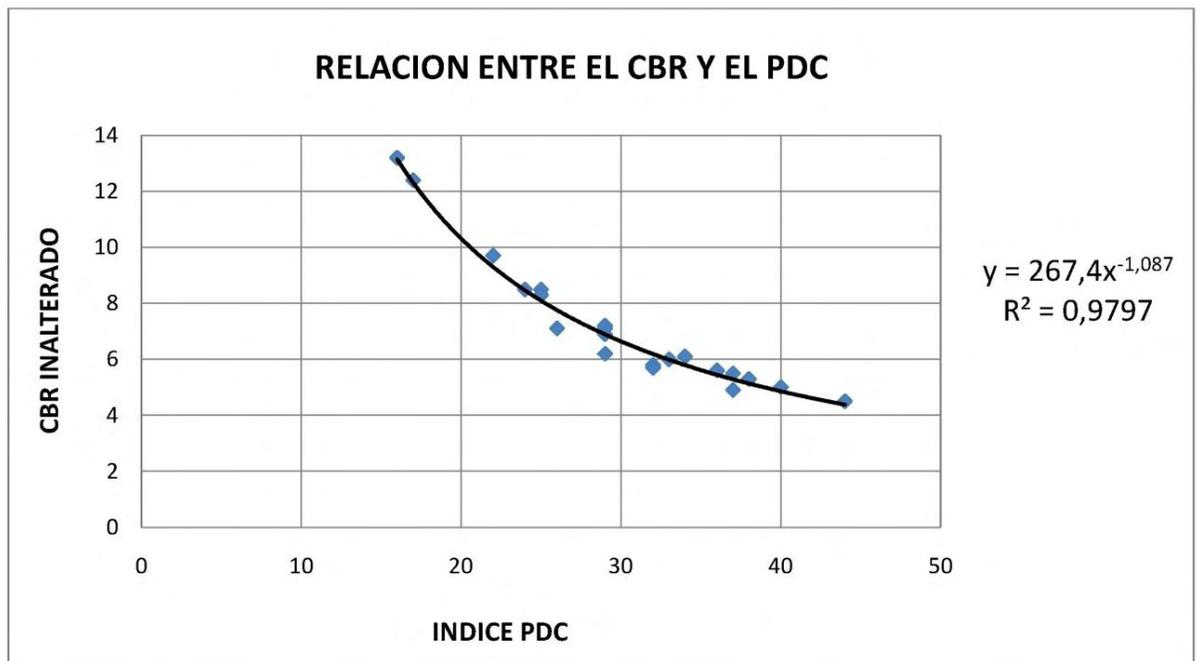
REGRESIÓN	ECUACIÓN	R <sup>2</sup>
Exponencial	$CBR = 21,809e^{-0,039(IP)}$	0,9351
Lineal	$CBR = -8,605\ln(IP) + 36,174$	0,8679
Logarítmica	$CBR = 8,1742 \ln (PDC) - 11,005$	0,9459
Polinómica Grado 2	$CBR = 0,0123(IP)^2 - 1,0259(IP) + 26,241$	0,9778
Potencial	$CBR = 267,4(IP)^{-1,087}$	0,9797

Se seleccionó como ecuación general, la hallada mediante la regresión potencial, ya que presenta mayor grado de correlación, y la cual es una ecuación de cálculo sencilla y los resultados que representa se ajustan a la realidad:

$$CBR = 267,4(IP)^{-1,087}$$

En la gráfica 7 se muestra la gráfica de esta ecuación:

Gráfica 7. Relación ensayos PDC y CBR.



Los resultados obtenidos con la regresión potencial se muestran a continuación:

Tabla 9: Lista de resultados.

Nº Ensayo	Referencia	Borde de la via	Índice PDC (mm/golpe) (Anexo A)	CBR % INALTERADO DE LABORATORIO (Anexo B)	CBR % CALCULADO APARTIR DE LA REGRESION POTENCIAL
1	K 30+000	IZQUIERDO	44	4,5	4,4
2	K 30+500	DERECHO	37	5,5	5,3
3	K 31+000	IZQUIERDO	16	13,2	13,1
4	K 31+500	DERECHO	22	9,7	9,3
5	K 32+000	IZQUIERDO	25	8,5	8,1
6	K 32+500	DERECHO	24	8,5	8,5
7	K 33+000	IZQUIERDO	29	7,1	6,9
8	K 33+500	DERECHO	38	5,3	5,1
9	K 34+000	IZQUIERDO	40	5	4,8
10	K 34+500	DERECHO	34	6,1	5,8
11	K 35+000	IZQUIERDO	33	6	6,0
12	K 35+500	DERECHO	25	8,3	8,1
13	K 36+000	IZQUIERDO	32	5,8	6,2
14	K 36+500	DERECHO	29	6,2	6,9
15	K 37+000	IZQUIERDO	36	5,6	5,4
16	K 37+500	DERECHO	37	4,9	5,3
17	K 38+000	IZQUIERDO	26	7,1	7,7
18	K 38+500	DERECHO	29	6,9	6,9
19	K 39+000	IZQUIERDO	29	7,2	6,9
20	K 39+500	DERECHO	32	5,7	6,2
21	K 40+000	IZQUIERDO	17	12,4	12,3

## 7. CONCLUSIONES

En la realización de los ensayos se observó las ventajas de tener un PDC desarmable, lo cual se logró agregándole rosca al yunque en la parte superior e inferior por donde se introducían también con rosca la varilla que guía el martillo y la varilla que tiene la punta cónica respectivamente. De igual manera se confirmó con los ensayos en el campo que se maximiza el tiempo y la economía al contar con una punta desechable, lo que se logra fácilmente agregando una rosca a la punta cónica y al extremo inferior de la varilla que se entierra.

Una ventaja muy importante del PDC es que en el momento de ejecutar el ensayo sin la necesidad de procesar datos, da una idea clara de la resistencia a la penetración del suelo, es decir, una baja penetración por golpe indica una alta resistencia a la penetración y una alta penetración por golpe indica una baja resistencia a la penetración.

Se pudo confirmar al ensayo PDC como una alternativa mucho más rápida y económica para identificar el CBR del terreno con la correlación que brinda el INVIAS. Siempre y cuando se ciña a los pesos y medidas de diseño que esta norma también indica y en el campo realizando los ensayos de manera correcta y precisa.

Se espera que con la construcción del penetrómetro dinámico de cono (PDC) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil contribuya a la formación de los estudiantes para que lo tengan como una herramienta fácil y rápida de usar en el momento de conocer la capacidad de soporte del suelo y su respectiva correlación con el CBR.

## 8. RECOMENDACIONES

Construir el penetrómetro dinámico de cono (PDC) y realizar el ensayo, de acuerdo a la norma INVIAS INV E-172-07, es decir, conforme al peso y las medidas del equipo, esto garantiza una correcta correlación con el CBR.

Agregar agua por el orificio en que se enterró la varilla hasta saturar el terreno cuando se presenta una alta resistencia a la penetración y se dificulta sacar la varilla una vez finalizado el ensayo, luego de unos minutos la varilla sale con facilidad. Hay que tener en cuenta de no repetir el ensayo cerca puesto que debido a la saturación del terreno el resultado de la resistencia a la penetración será erróneo.

Sostener el equipo verticalmente sin inclinación hacia ningún lado lo que ocasiona fricción con la varilla guía al momento de soltar el martillo y lo que se traduce en menor energía de impacto con el yunque, este error traduce en resultados erróneos. Para lograr mantener vertical el equipo, el compañero de equipo debe alejarse por lo menos 3 metros y corregir las inclinaciones que haya de frente y de perfil, porque la persona que sostiene el equipo debido a la cercanía de su campo de visión no nota las inclinaciones.

Investigar otros penetrómetros para los tipos de terreno que el PDC no funciona, por ejemplo para suelos con un CBR superior a 90% se podría contar con una punta de un ángulo más reducido lo que facilitaría su penetración y en el caso de CBR muy bajos una punta con un ángulo y un diámetro mayor sería la solución, también se podría variar el peso del martillo de acuerdo a la necesidad.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANGELONE S., TOSTICARELLI J. Y MARTÍNEZ F. (1990), "El Penetrómetro Dinámico de Cono. Su aplicación al Control y Diseño Estructural de Pavimentos", 6° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.

GARCÍA H. Y GUTIÉRREZ J. (1987), "La Aplicación del Penetrómetro Dinámico para Determinar Propiedades de Resistencia In-situ de Capas de Pavimentos y Subrasante", Dirección de Estudios Especiales, Dirección General de Caminos, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

HOYOS D. (1991), "Ensayos de Penetración Estática y Dinámica en la Geotecnia Vial", Octavo Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, Popayán, Colombia.

PROCEDIMIENTOS DE SONDEOS, Jesús Puy, (1996).

LOS ENSAYOS IN SITU EN LA MECÁNICA DEL SUELO, Maurice Casan, Editores Técnicos Asociados SA.

CURSO APLICADO DE CIMENTACIONES, JM. Rodríguez Ortiz, Jesús Serra, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid – COAM.

BLACK, C.A. (ed). Methods of soil analysis. Agronomy Monograph 9. Part 1. ASA, Madison, Wisconsin. USA 1965. 1180 p.

EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO CON PENETRÓMETROS. Estado actual disponible en Internet. <http://ingenieriageologica.iespana.es/biblioteca/penetrometros.htm>

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP). Estado actual disponible en Internet. [www.pavements.com/espanol/equipos/CSIR/dcp\\_es.htm](http://www.pavements.com/espanol/equipos/CSIR/dcp_es.htm)

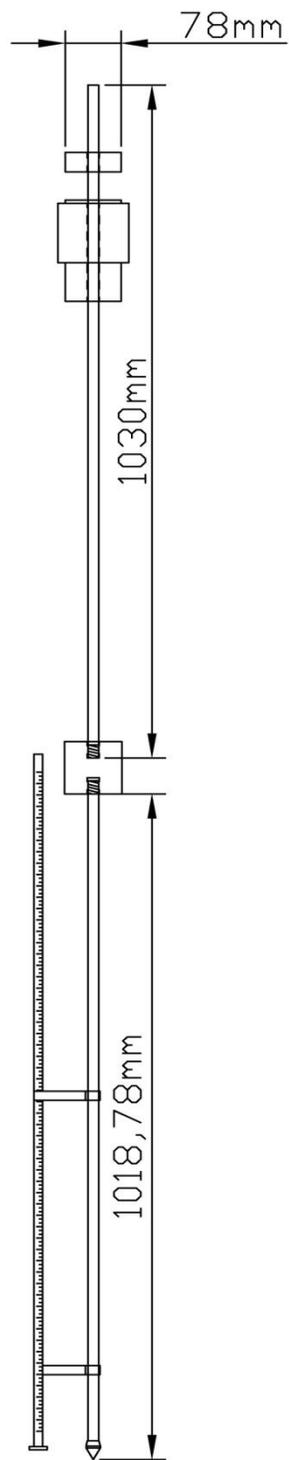
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS. Estado actual disponible en Internet. [www.mopt.go.cr/planificacion/centrodeinformacion/CONTROL-VERIFICACION-KfW/NORMA%20DCP-695103.pdf](http://www.mopt.go.cr/planificacion/centrodeinformacion/CONTROL-VERIFICACION-KfW/NORMA%20DCP-695103.pdf)

NORMAS DEL ICONTEC, Para la presentación de Tesis y otros trabajos de grado. Estado actual disponible en Internet.

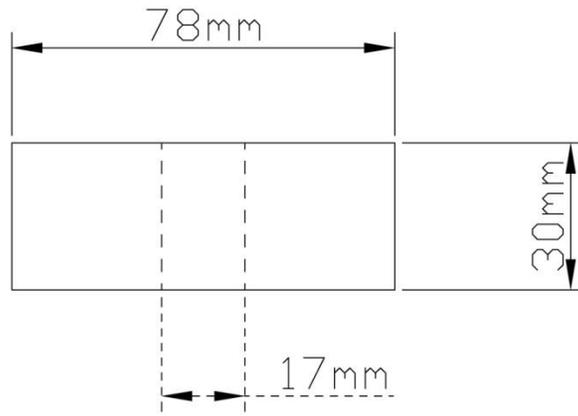
## **ANEXO A**

Contiene los planos del Penetrómetro Dinámico Cono (PDC), para su respectiva construcción.

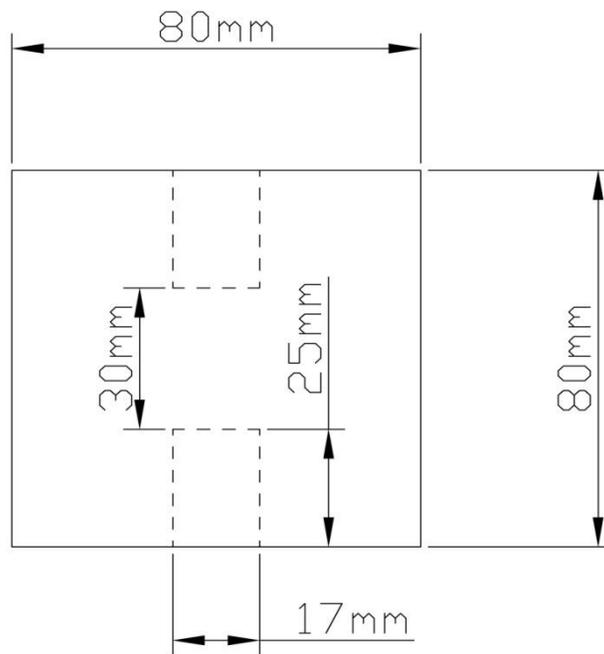
# PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (PDC)



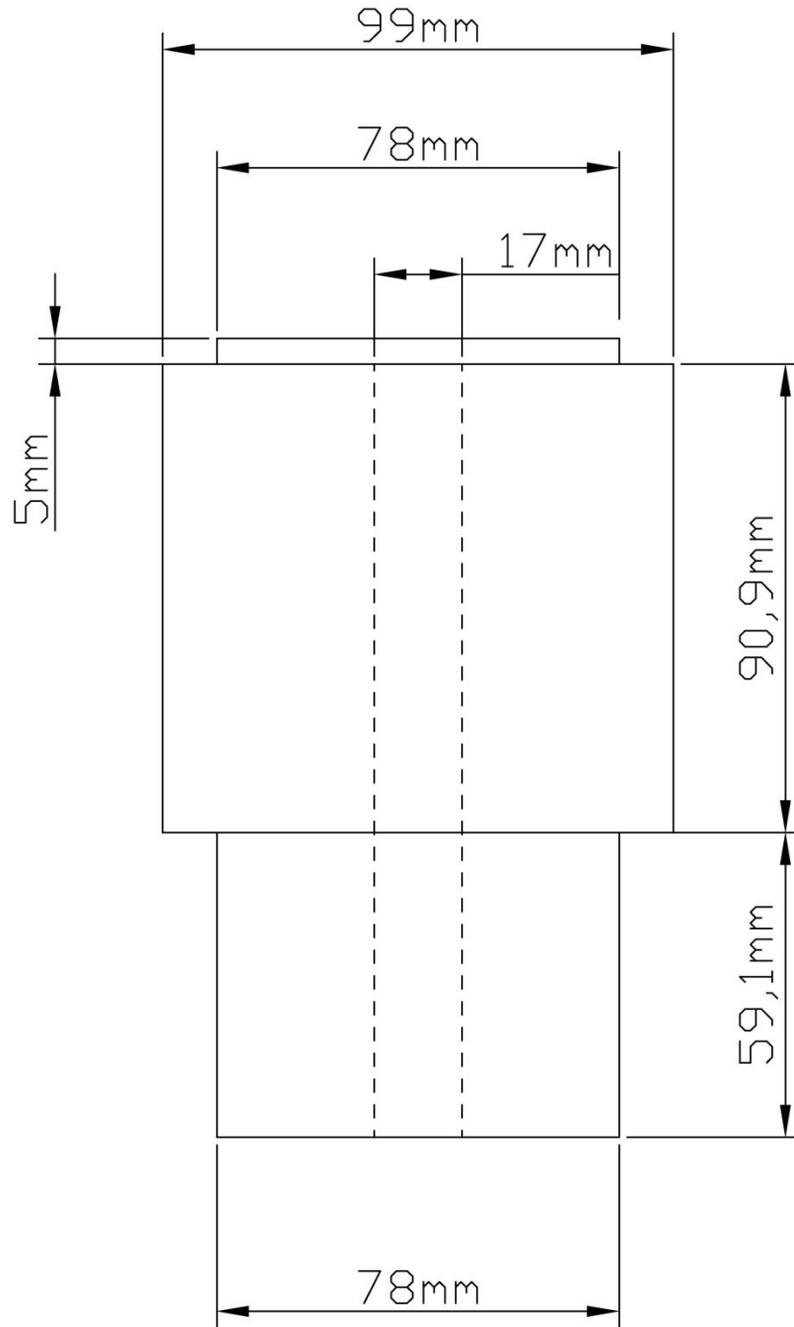
### TOPE SUPERIOR



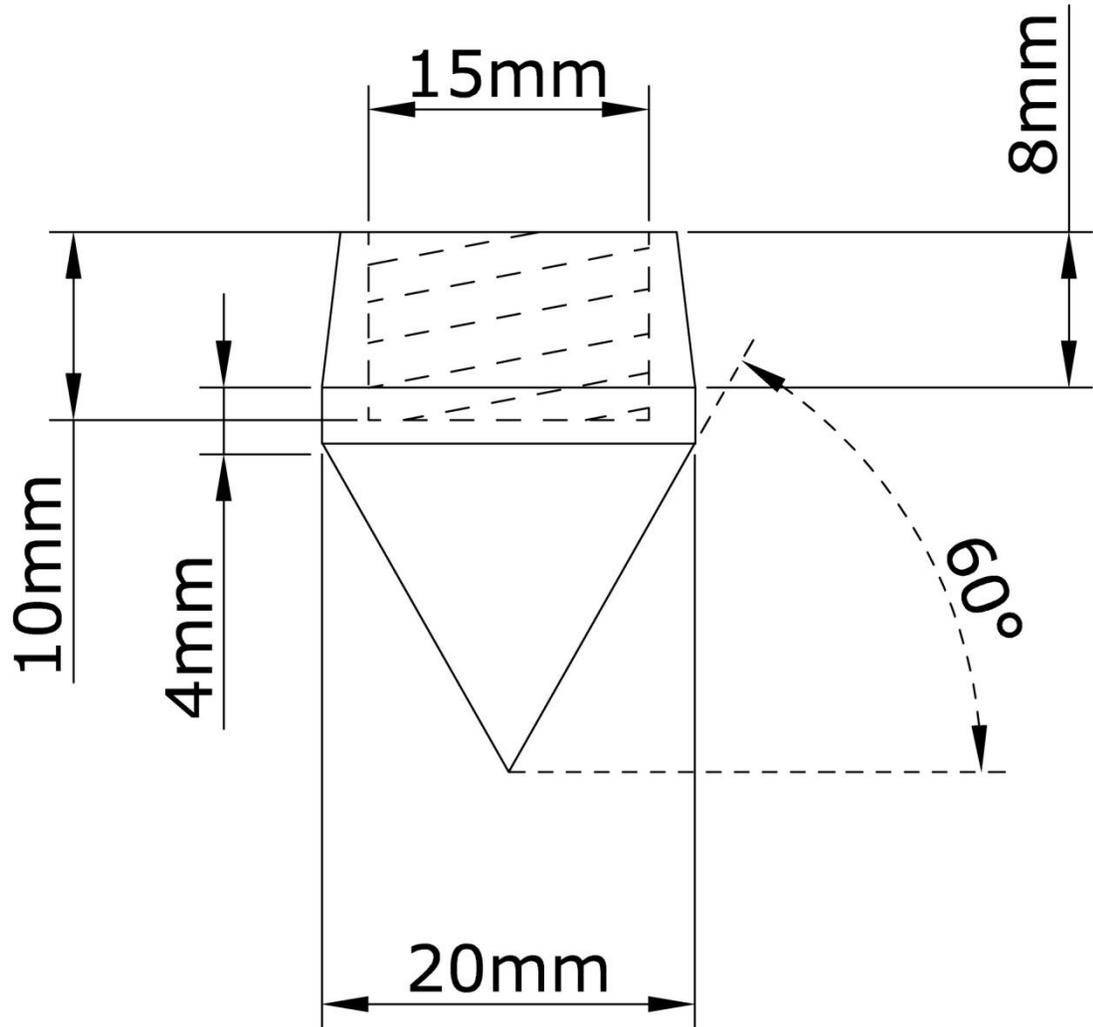
### YUNQUE



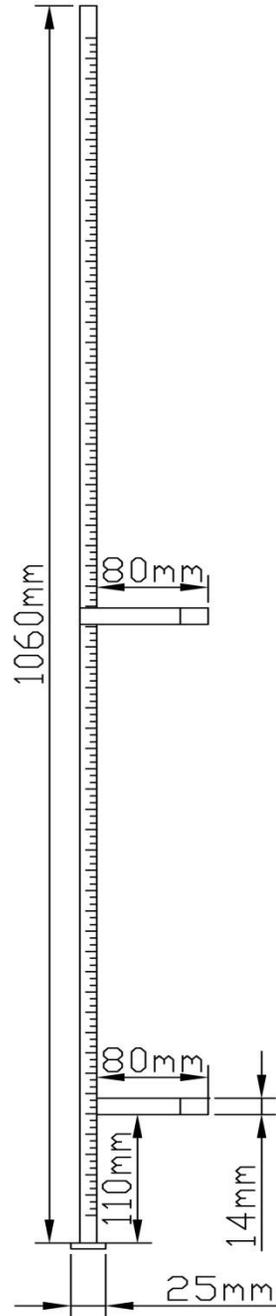
# MARTILLO DE GOLPEO



PUNTA CÓNICA DE 60°



# REGLA DE MEDICIÓN



## **ANEXO B**

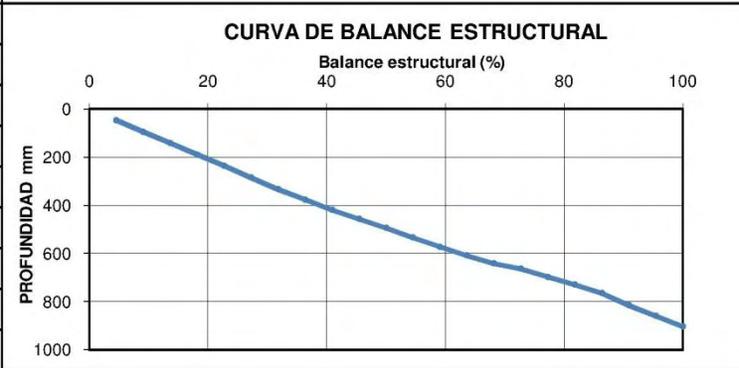
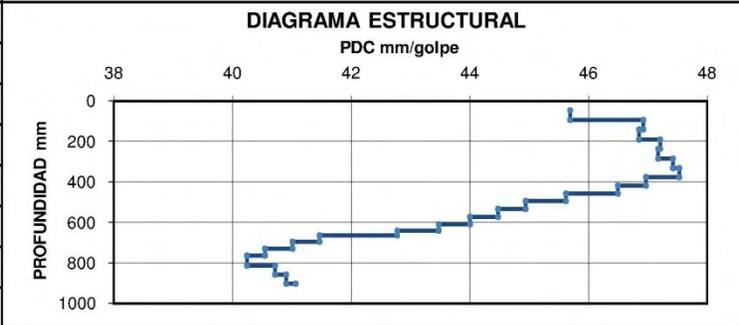
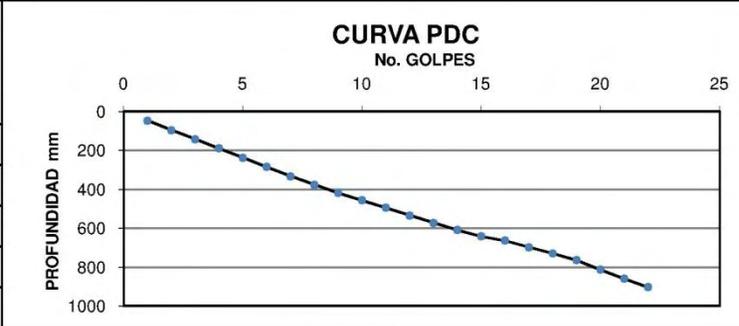
CONTIENE LA REPRESENTACION GRÁFICA DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CON EL PENETROEMTRO DINAMICO DE CONO. Carretera Pasto-Mocoa, sector El Encano–Santiago K30+000 al K40+000.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K30+00
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golpe	Resistencia %
1	46	45,7	4,5
2	94	46,9	9,1
3	141	46,8	13,6
4	189	47,2	18,2
5	236	47,2	22,7
6	285	47,4	27,3
7	333	47,5	31,8
8	376	47,0	36,4
9	418	46,5	40,9
10	456	45,6	45,5
11	494	44,9	50,0
12	534	44,5	54,5
13	572	44,0	59,1
14	609	43,5	63,6
15	642	42,8	68,2
16	663	41,5	72,7
17	697	41,0	77,3
18	730	40,5	81,8
19	765	40,2	86,4
20	814	40,7	90,9
21	859	40,9	95,5
22	903	41,1	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

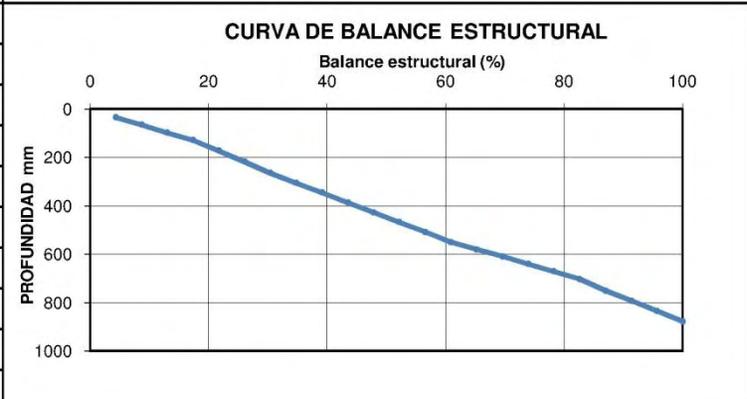
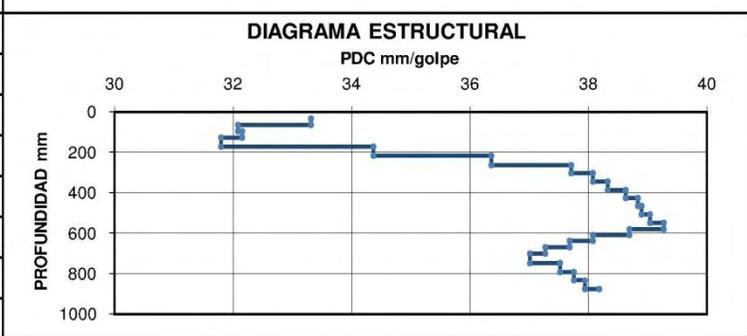
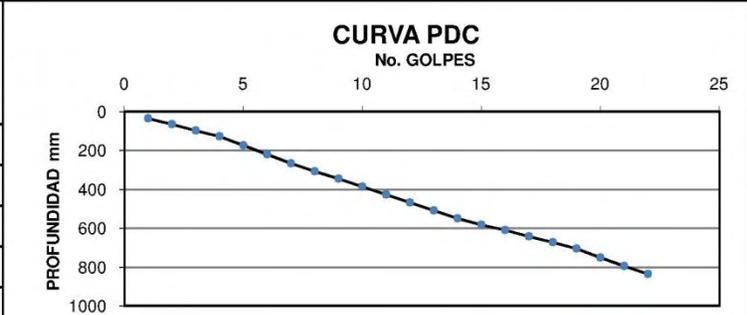
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K30+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golpe	Resistencia %
1	33	33,3	4,3
2	64	32,1	8,7
3	96	32,2	13,0
4	127	31,8	17,4
5	172	34,4	21,7
6	218	36,4	26,1
7	264	37,7	30,4
8	305	38,1	34,8
9	345	38,3	39,1
10	386	38,6	43,5
11	427	38,8	47,8
12	467	38,9	52,2
13	507	39,0	56,5
14	550	39,3	60,9
15	580	38,7	65,2
16	609	38,1	69,6
17	641	37,7	73,9
18	671	37,3	78,3
19	703	37,0	82,6
20	750	37,5	87,0
21	793	37,8	91,3
22	835	37,9	95,7
23	878	38,2	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

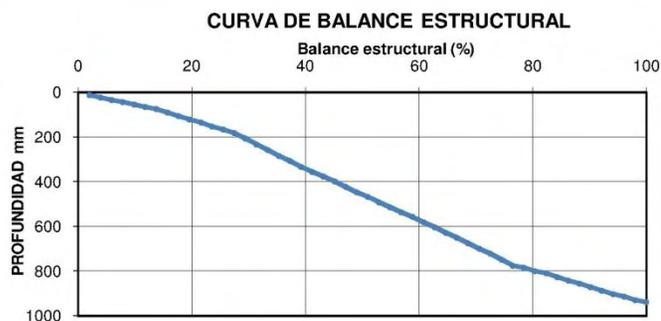
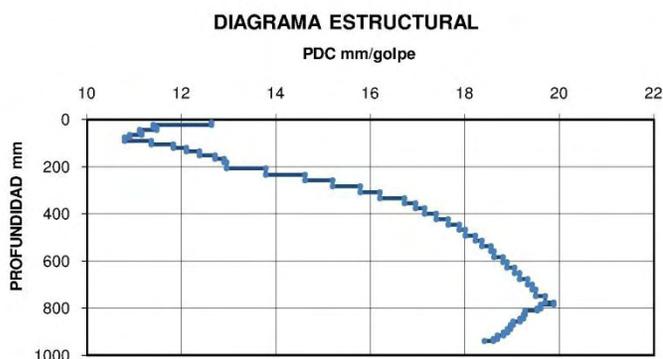
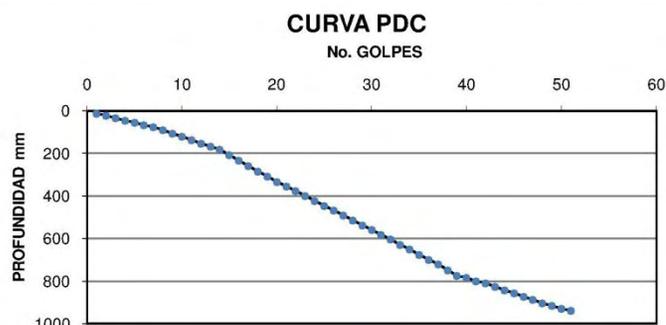
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K31+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	13	12,6	2,0
2	23	11,4	3,9
3	34	11,5	5,9
4	44	11,1	7,8
5	56	11,2	9,8
6	65	10,9	11,8
7	76	10,8	13,7
8	91	11,4	15,7
9	106	11,8	17,6
10	121	12,1	19,6
11	136	12,4	21,6
12	152	12,7	23,5
13	168	12,9	25,5
14	181	13,0	27,5
15	207	13,8	29,4
16	234	14,6	31,4
17	258	15,2	33,3
18	284	15,8	35,3
19	308	16,2	37,3
20	334	16,7	39,2
21	356	17,0	41,2
22	377	17,1	43,1
23	400	17,4	45,1
24	423	17,6	47,1
25	447	17,9	49,0
26	468	18,0	51,0
27	492	18,2	52,9
28	514	18,4	54,9
29	538	18,5	56,9
30	558	18,6	58,8
31	583	18,8	60,8
32	605	18,9	62,7
33	629	19,1	64,7
34	651	19,2	66,7
35	676	19,3	68,6
36	699	19,4	70,6
37	721	19,5	72,5
38	749	19,7	74,5
39	775	19,9	76,5
40	784	19,6	78,4
41	801	19,5	80,4
42	810	19,3	82,4
43	827	19,2	84,3
44	843	19,2	86,3
45	856	19,0	88,2
46	872	19,0	90,2
47	888	18,9	92,2
48	903	18,8	94,1
49	915	18,7	96,1
50	930	18,6	98,0
51	939	18,4	100,0



OBSERVACIONES:

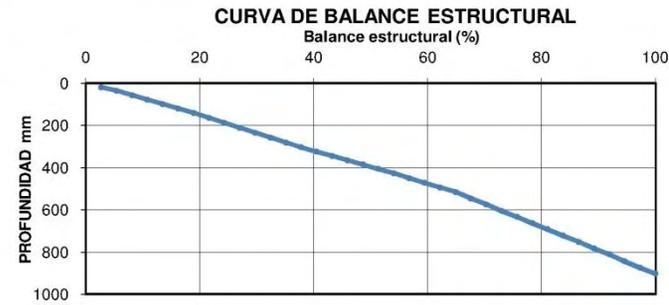
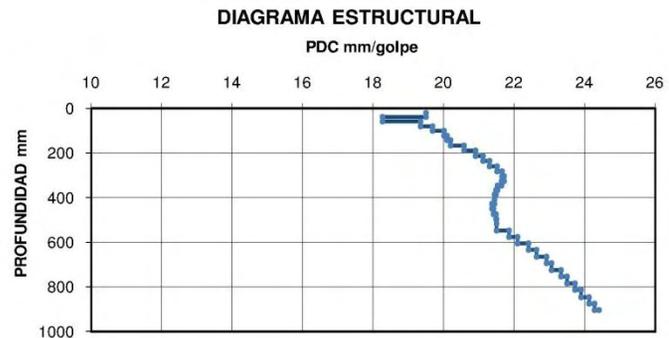
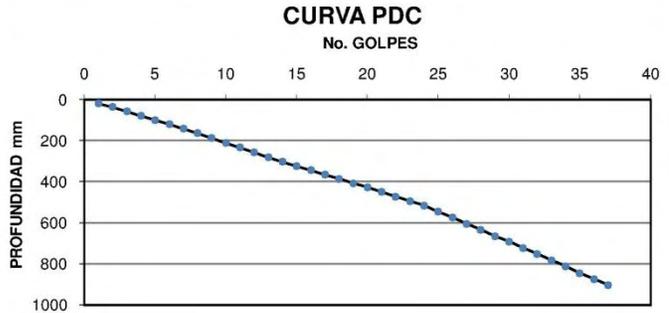
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K31+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	20	19,5	2,7
2	37	18,3	5,4
3	58	19,3	8,1
4	79	19,7	10,8
5	100	20,0	13,5
6	121	20,1	16,2
7	141	20,2	18,9
8	165	20,6	21,6
9	188	20,9	24,3
10	211	21,1	27,0
11	234	21,3	29,7
12	258	21,5	32,4
13	282	21,7	35,1
14	304	21,7	37,8
15	325	21,6	40,5
16	344	21,5	43,2
17	365	21,5	45,9
18	386	21,4	48,6
19	407	21,4	51,4
20	427	21,4	54,1
21	450	21,4	56,8
22	473	21,5	59,5
23	495	21,5	62,2
24	516	21,5	64,9
25	546	21,9	67,6
26	575	22,1	70,3
27	605	22,4	73,0
28	634	22,6	75,7
29	665	22,9	78,4
30	692	23,1	81,1
31	724	23,3	83,8
32	752	23,5	86,5
33	783	23,7	89,2
34	813	23,9	91,9
35	845	24,1	94,6
36	874	24,3	97,3
37	903	24,4	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

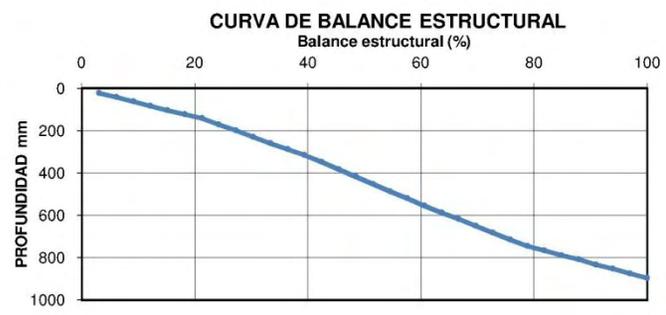
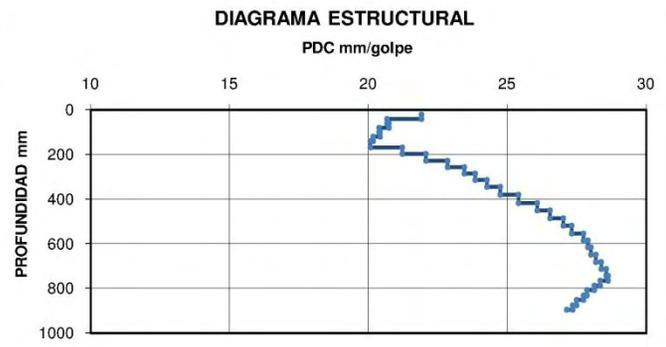
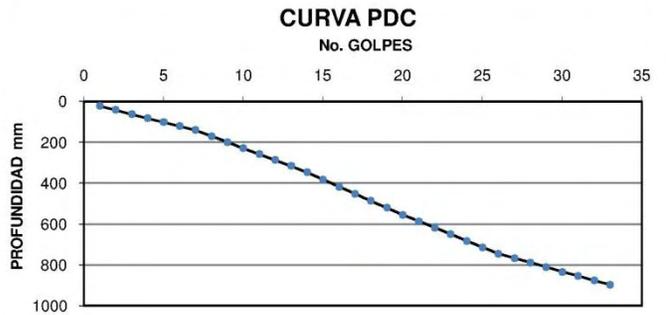
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K32+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	22	21,9	3,0
2	41	20,7	6,1
3	62	20,7	9,1
4	82	20,4	12,1
5	102	20,4	15,2
6	121	20,2	18,2
7	140	20,1	21,2
8	170	21,2	24,2
9	199	22,1	27,3
10	229	22,9	30,3
11	258	23,5	33,3
12	286	23,9	36,4
13	316	24,3	39,4
14	346	24,7	42,4
15	381	25,4	45,5
16	417	26,1	48,5
17	451	26,6	51,5
18	486	27,0	54,5
19	519	27,3	57,6
20	555	27,8	60,6
21	586	27,9	63,6
22	617	28,0	66,7
23	648	28,2	69,7
24	681	28,4	72,7
25	714	28,6	75,8
26	745	28,6	78,8
27	765	28,3	81,8
28	788	28,1	84,8
29	809	27,9	87,9
30	833	27,8	90,9
31	853	27,5	93,9
32	875	27,4	97,0
33	896	27,1	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

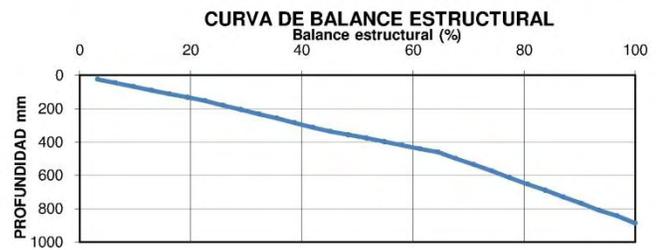
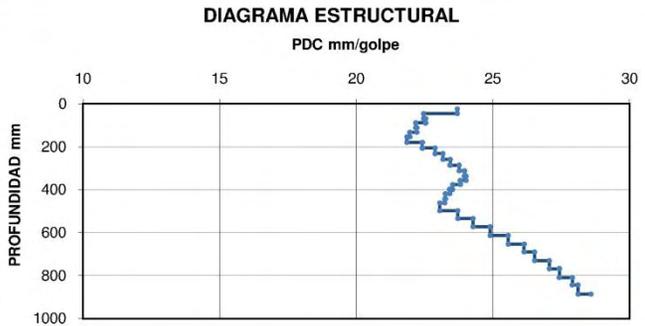
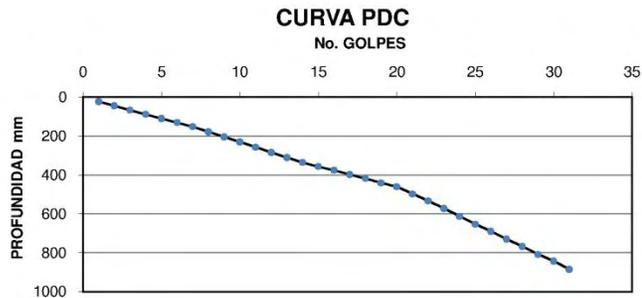
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K32+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	24	23,7	3,2
2	45	22,5	6,5
3	68	22,5	9,7
4	89	22,2	12,9
5	111	22,2	16,1
6	132	22,0	19,4
7	153	21,9	22,6
8	179	22,4	25,8
9	206	22,9	29,0
10	232	23,2	32,3
11	258	23,4	35,5
12	285	23,8	38,7
13	312	24,0	41,9
14	336	24,0	45,2
15	357	23,8	48,4
16	376	23,5	51,6
17	398	23,4	54,8
18	419	23,3	58,1
19	442	23,2	61,3
20	461	23,1	64,5
21	498	23,7	67,7
22	534	24,3	71,0
23	573	24,9	74,2
24	613	25,6	77,4
25	654	26,1	80,6
26	690	26,5	83,9
27	731	27,1	87,1
28	768	27,4	90,3
29	809	27,9	93,5
30	844	28,1	96,8
31	886	28,6	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

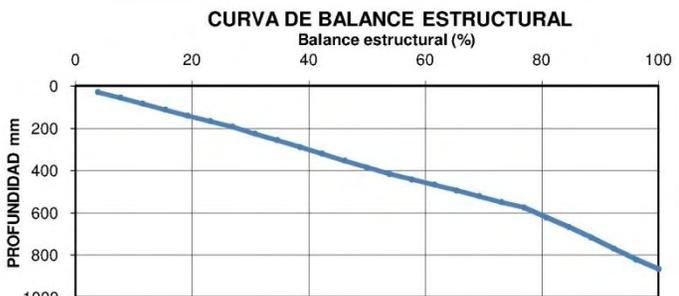
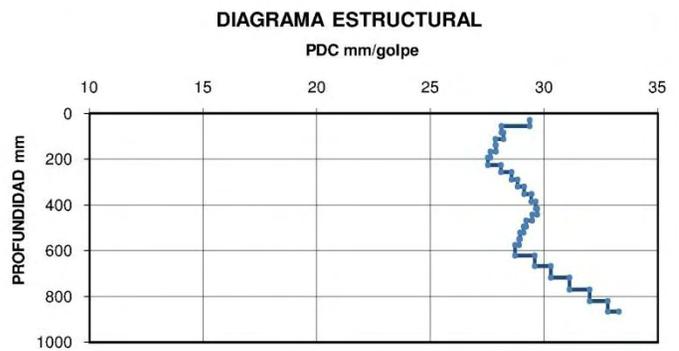
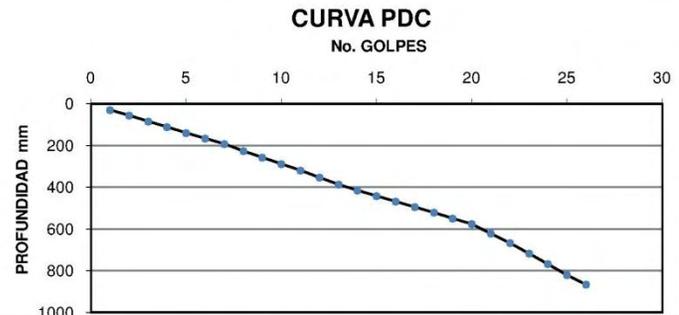
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K33+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golpe	Resis %
1	29	29,4	3,8
2	56	28,1	7,7
3	85	28,2	11,5
4	111	27,9	15,4
5	139	27,9	19,2
6	166	27,6	23,1
7	193	27,5	26,9
8	225	28,1	30,8
9	257	28,6	34,6
10	289	28,9	38,5
11	320	29,1	42,3
12	353	29,4	46,2
13	385	29,6	50,0
14	416	29,7	53,8
15	442	29,5	57,7
16	467	29,2	61,5
17	495	29,1	65,4
18	521	28,9	69,2
19	549	28,9	73,1
20	575	28,7	76,9
21	621	29,6	80,8
22	667	30,3	84,6
23	716	31,1	88,5
24	768	32,0	92,3
25	820	32,8	96,2
26	865	33,3	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

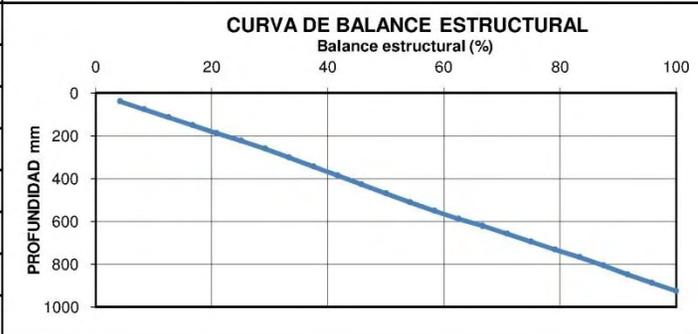
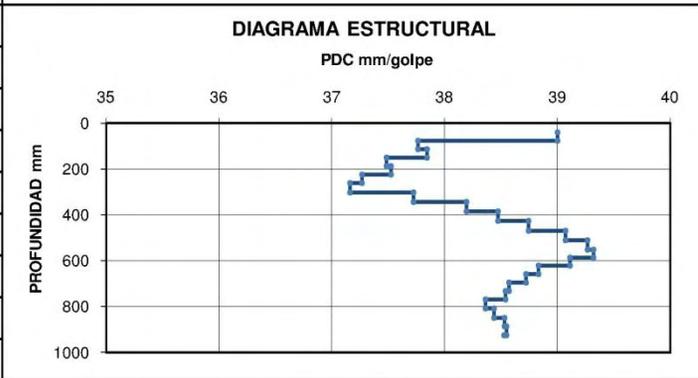
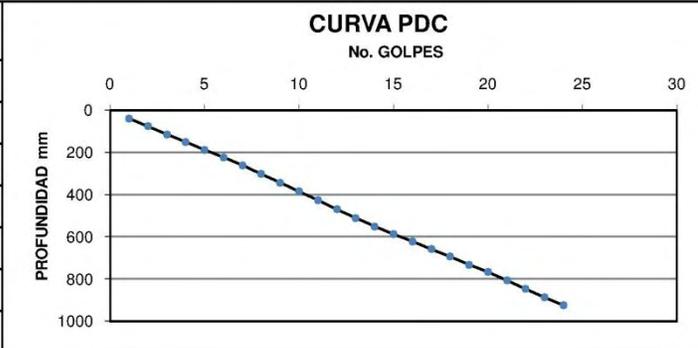
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K33+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	39	39,0	4,2
2	76	37,8	8,3
3	114	37,8	12,5
4	150	37,5	16,7
5	188	37,5	20,8
6	224	37,3	25,0
7	260	37,2	29,2
8	302	37,7	33,3
9	344	38,2	37,5
10	385	38,5	41,7
11	426	38,7	45,8
12	469	39,1	50,0
13	510	39,3	54,2
14	550	39,3	58,3
15	587	39,1	62,5
16	621	38,8	66,7
17	658	38,7	70,8
18	694	38,6	75,0
19	732	38,5	79,2
20	767	38,4	83,3
21	807	38,4	87,5
22	848	38,5	91,7
23	887	38,5	95,8
24	925	38,5	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

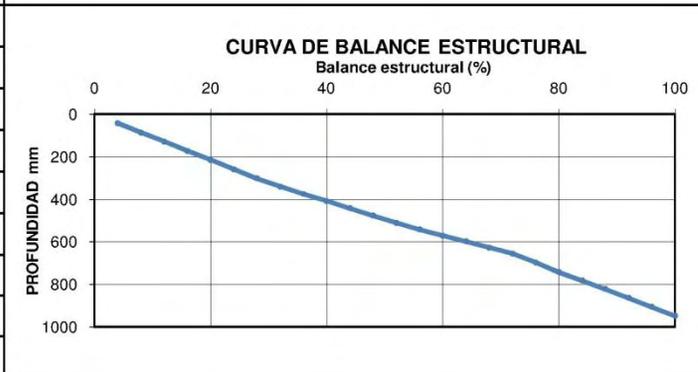
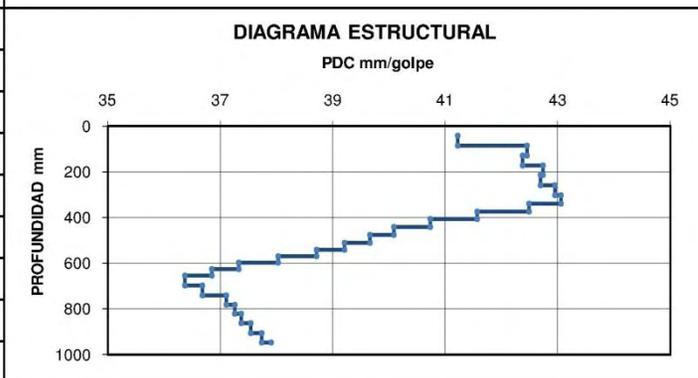
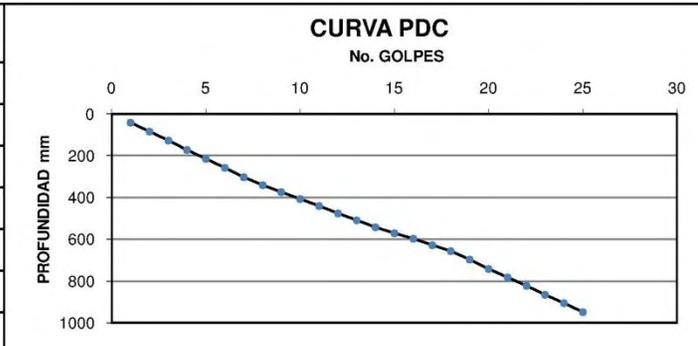
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K34+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	41	41,2	4,0
2	85	42,5	8,0
3	127	42,4	12,0
4	171	42,7	16,0
5	213	42,7	20,0
6	258	43,0	24,0
7	301	43,1	28,0
8	340	42,5	32,0
9	374	41,6	36,0
10	407	40,7	40,0
11	441	40,1	44,0
12	476	39,7	48,0
13	510	39,2	52,0
14	542	38,7	56,0
15	570	38,0	60,0
16	597	37,3	64,0
17	626	36,9	68,0
18	655	36,4	72,0
19	697	36,7	76,0
20	742	37,1	80,0
21	782	37,3	84,0
22	822	37,4	88,0
23	863	37,5	92,0
24	906	37,7	96,0
25	948	37,9	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

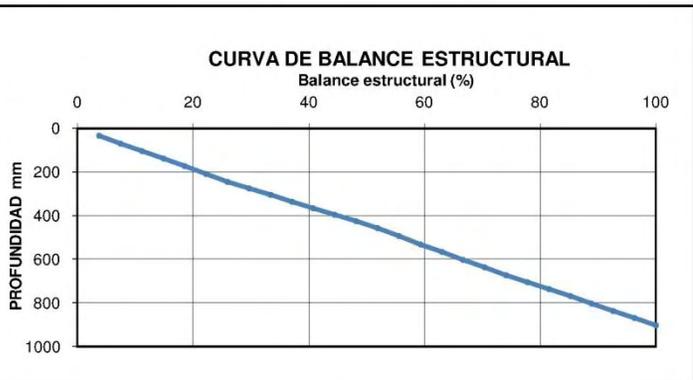
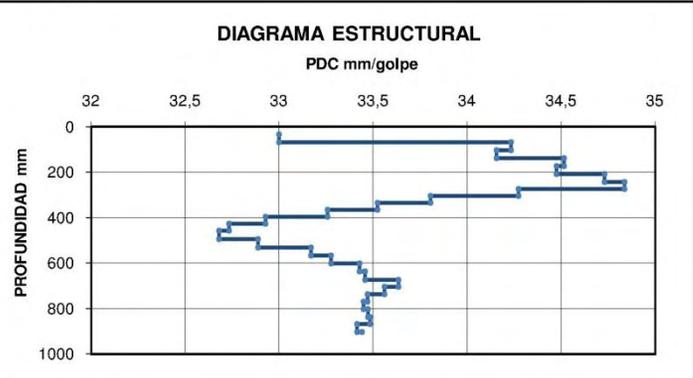
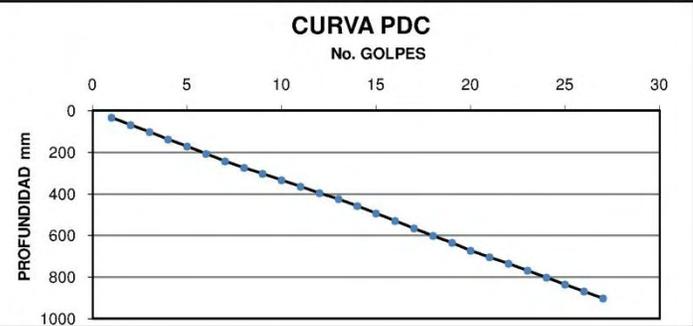
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K34+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	33	33,0	3,7
2	68	34,2	7,4
3	102	34,2	11,1
4	138	34,5	14,8
5	172	34,5	18,5
6	208	34,7	22,2
7	244	34,8	25,9
8	274	34,3	29,6
9	304	33,8	33,3
10	335	33,5	37,0
11	366	33,3	40,7
12	395	32,9	44,4
13	426	32,7	48,1
14	458	32,7	51,9
15	493	32,9	55,6
16	531	33,2	59,3
17	566	33,3	63,0
18	602	33,4	66,7
19	636	33,5	70,4
20	673	33,6	74,1
21	705	33,6	77,8
22	736	33,5	81,5
23	769	33,5	85,2
24	803	33,5	88,9
25	837	33,5	92,6
26	869	33,4	96,3
27	903	33,4	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

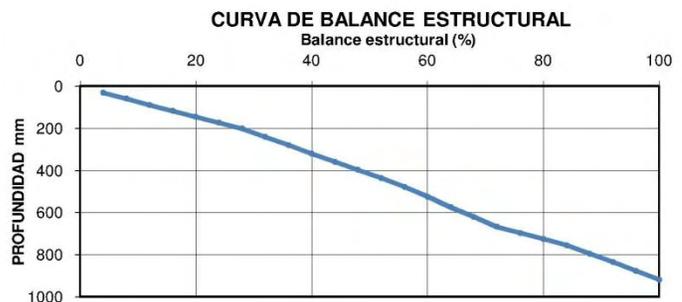
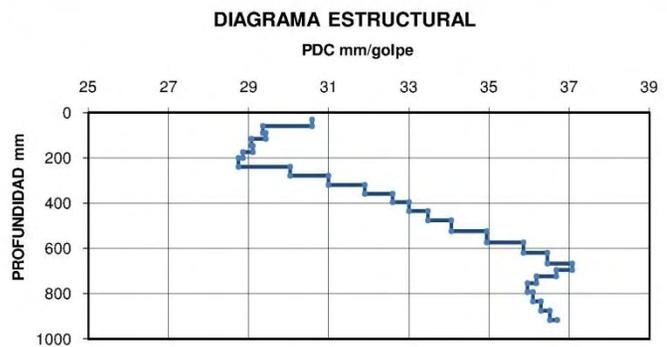
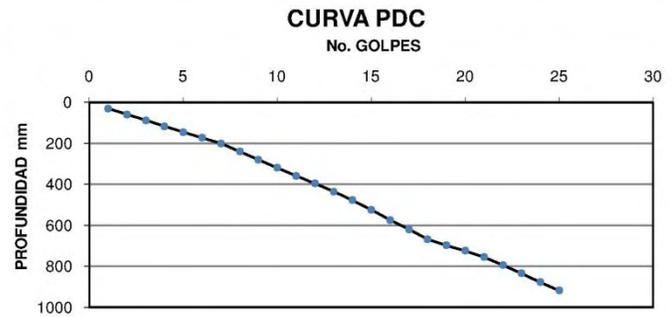
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K35+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	31	30,6	4,0
2	59	29,3	8,0
3	88	29,4	12,0
4	116	29,1	16,0
5	146	29,1	20,0
6	173	28,9	24,0
7	201	28,7	28,0
8	240	30,0	32,0
9	279	31,0	36,0
10	319	31,9	40,0
11	358	32,6	44,0
12	396	33,0	48,0
13	435	33,5	52,0
14	477	34,1	56,0
15	524	34,9	60,0
16	574	35,9	64,0
17	620	36,5	68,0
18	667	37,1	72,0
19	697	36,7	76,0
20	724	36,2	80,0
21	755	36,0	84,0
22	794	36,1	88,0
23	835	36,3	92,0
24	876	36,5	96,0
25	918	36,7	100,0



OBSERVACIONES:

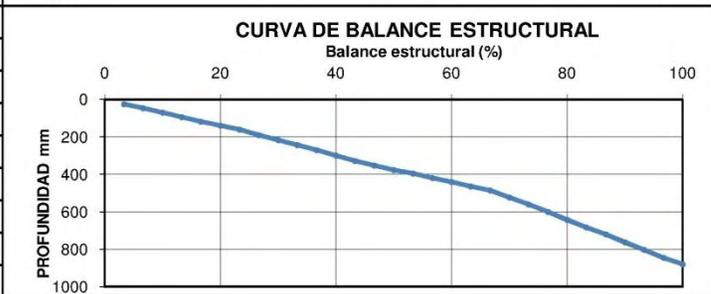
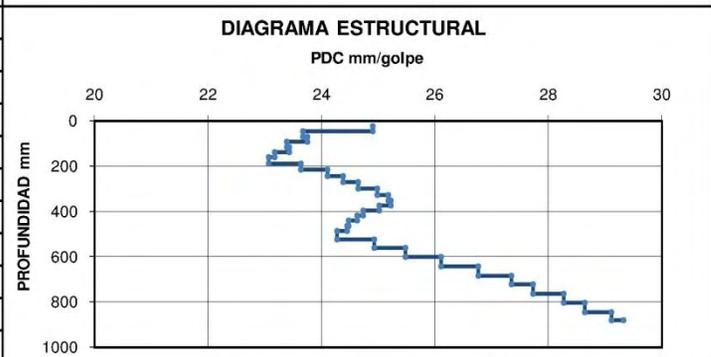
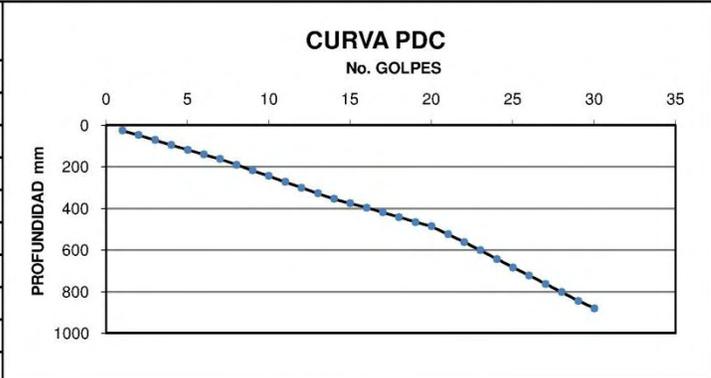
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K35+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	25	24,9	3,3
2	47	23,7	6,7
3	71	23,8	10,0
4	94	23,4	13,3
5	117	23,4	16,7
6	139	23,2	20,0
7	162	23,1	23,3
8	189	23,6	26,7
9	217	24,1	30,0
10	244	24,4	33,3
11	271	24,7	36,7
12	300	25,0	40,0
13	327	25,2	43,3
14	353	25,2	46,7
15	375	25,0	50,0
16	396	24,7	53,3
17	419	24,6	56,7
18	441	24,5	60,0
19	465	24,5	63,3
20	486	24,3	66,7
21	524	24,9	70,0
22	561	25,5	73,3
23	601	26,1	76,7
24	643	26,8	80,0
25	684	27,4	83,3
26	721	27,7	86,7
27	763	28,3	90,0
28	802	28,6	93,3
29	844	29,1	96,7
30	880	29,3	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

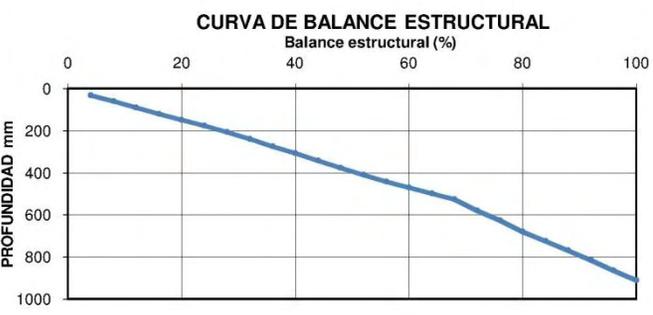
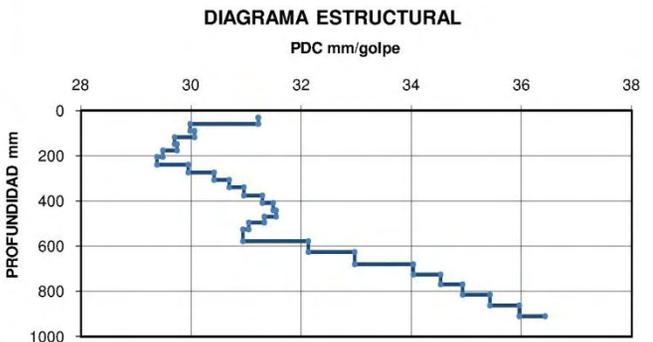
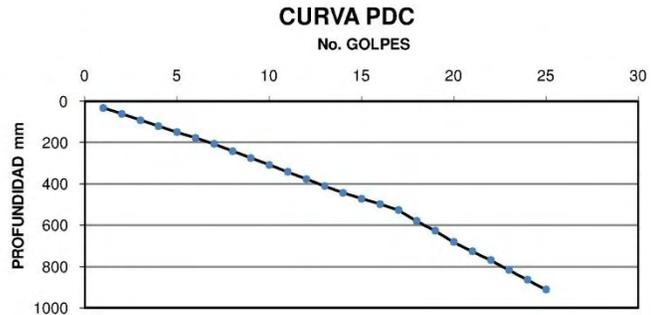
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K36+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golpe	Resis %
1	31	31,2	4,0
2	60	30,0	8,0
3	90	30,1	12,0
4	119	29,7	16,0
5	149	29,7	20,0
6	177	29,5	24,0
7	206	29,4	28,0
8	240	29,9	32,0
9	274	30,4	36,0
10	307	30,7	40,0
11	341	31,0	44,0
12	376	31,3	48,0
13	409	31,5	52,0
14	442	31,5	56,0
15	470	31,3	60,0
16	497	31,1	64,0
17	526	30,9	68,0
18	578	32,1	72,0
19	627	33,0	76,0
20	681	34,0	80,0
21	725	34,5	84,0
22	768	34,9	88,0
23	815	35,4	92,0
24	863	36,0	96,0
25	911	36,4	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

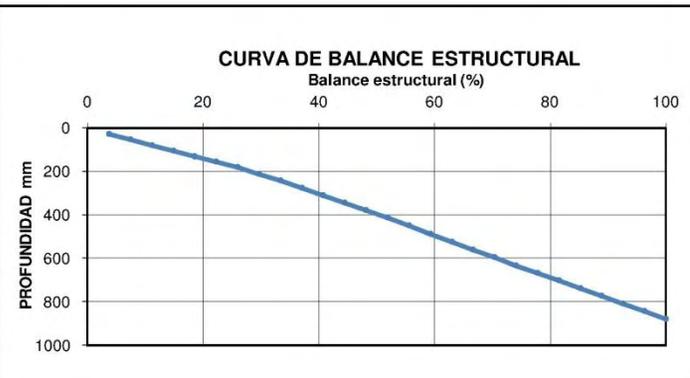
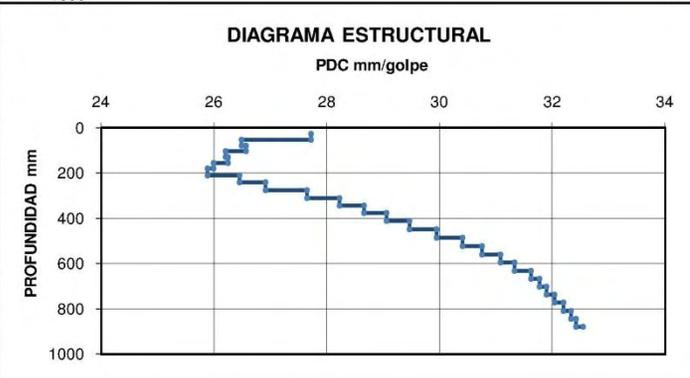
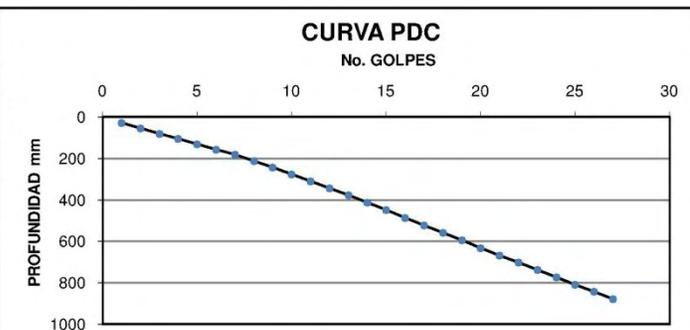
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K36+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	28	27,7	3,7
2	53	26,5	7,4
3	80	26,6	11,1
4	105	26,2	14,8
5	131	26,3	18,5
6	156	26,0	22,2
7	181	25,9	25,9
8	212	26,5	29,6
9	242	26,9	33,3
10	277	27,7	37,0
11	311	28,2	40,7
12	344	28,7	44,4
13	378	29,1	48,1
14	413	29,5	51,9
15	449	29,9	55,6
16	487	30,4	59,3
17	523	30,8	63,0
18	560	31,1	66,7
19	595	31,3	70,4
20	633	31,6	74,1
21	667	31,8	77,8
22	702	31,9	81,5
23	737	32,0	85,2
24	773	32,2	88,9
25	808	32,3	92,6
26	843	32,4	96,3
27	879	32,5	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

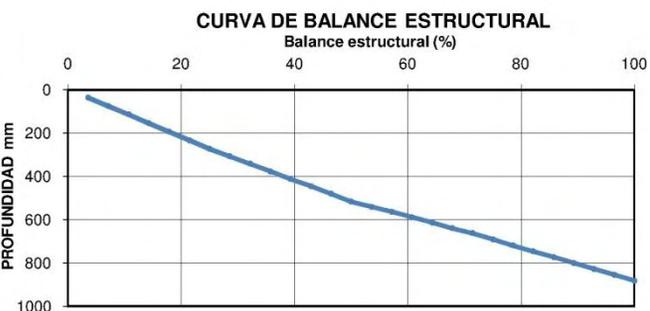
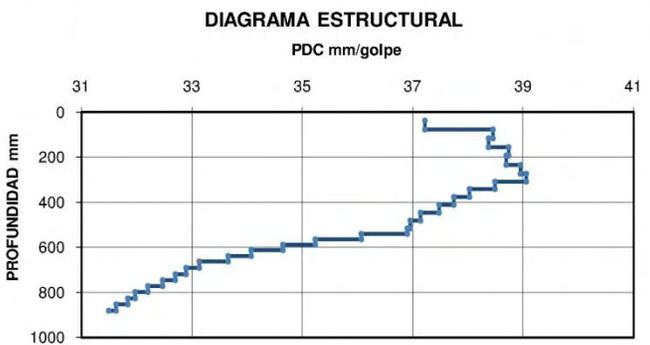
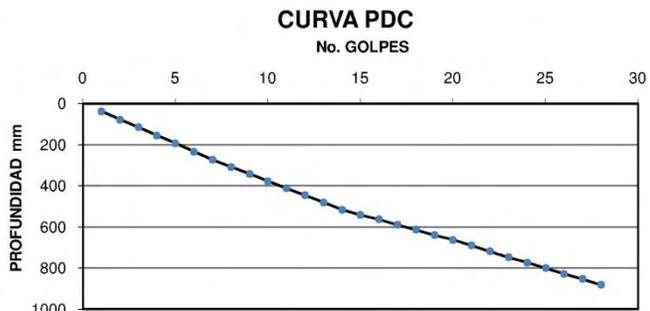
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K37+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	37	37,2	3,6
2	77	38,5	7,1
3	115	38,4	10,7
4	155	38,7	14,3
5	193	38,7	17,9
6	234	38,9	21,4
7	273	39,1	25,0
8	308	38,5	28,6
9	342	38,0	32,1
10	377	37,7	35,7
11	412	37,5	39,3
12	446	37,1	42,9
13	480	37,0	46,4
14	517	36,9	50,0
15	541	36,1	53,6
16	564	35,2	57,1
17	589	34,7	60,7
18	613	34,1	64,3
19	639	33,7	67,9
20	663	33,1	71,4
21	691	32,9	75,0
22	719	32,7	78,6
23	747	32,5	82,1
24	773	32,2	85,7
25	799	32,0	89,3
26	828	31,8	92,9
27	854	31,6	96,4
28	882	31,5	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

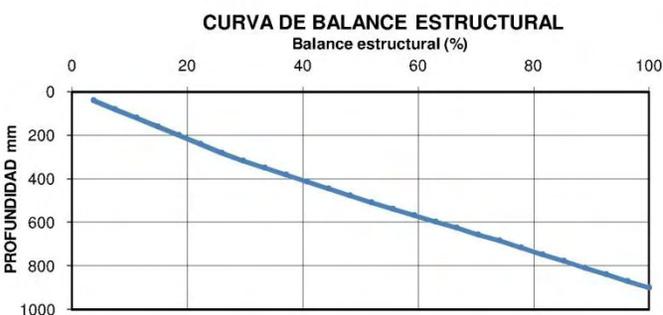
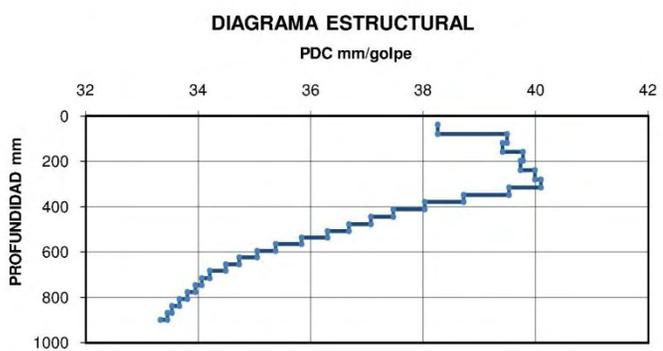
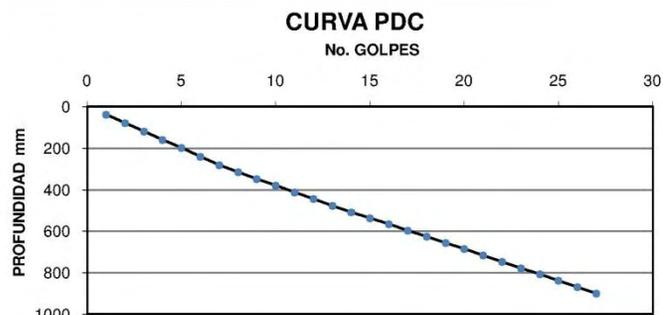
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K37+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	38	38,3	3,7
2	79	39,5	7,4
3	118	39,4	11,1
4	159	39,8	14,8
5	199	39,7	18,5
6	240	40,0	22,2
7	281	40,1	25,9
8	316	39,5	29,6
9	348	38,7	33,3
10	380	38,0	37,0
11	412	37,5	40,7
12	445	37,1	44,4
13	477	36,7	48,1
14	508	36,3	51,9
15	537	35,8	55,6
16	566	35,4	59,3
17	596	35,0	63,0
18	625	34,7	66,7
19	655	34,5	70,4
20	684	34,2	74,1
21	715	34,1	77,8
22	747	33,9	81,5
23	778	33,8	85,2
24	808	33,7	88,9
25	838	33,5	92,6
26	870	33,4	96,3
27	900	33,3	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

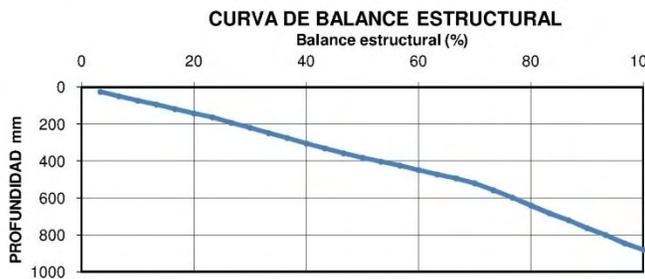
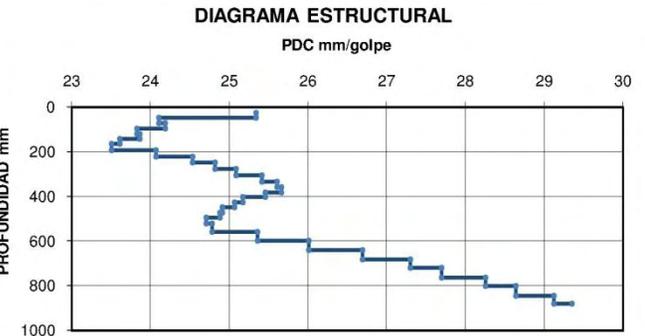
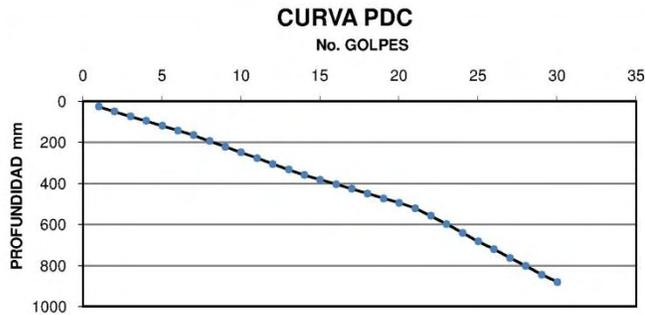
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K38+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	25	25,3	3,3
2	48	24,1	6,7
3	73	24,2	10,0
4	95	23,8	13,3
5	119	23,9	16,7
6	142	23,6	20,0
7	165	23,5	23,3
8	193	24,1	26,7
9	221	24,5	30,0
10	248	24,8	33,3
11	276	25,1	36,7
12	305	25,4	40,0
13	333	25,6	43,3
14	359	25,7	46,7
15	382	25,5	50,0
16	403	25,2	53,3
17	426	25,1	56,7
18	448	24,9	60,0
19	473	24,9	63,3
20	494	24,7	66,7
21	520	24,8	70,0
22	558	25,4	73,3
23	598	26,0	76,7
24	641	26,7	80,0
25	683	27,3	83,3
26	720	27,7	86,7
27	763	28,3	90,0
28	802	28,6	93,3
29	845	29,1	96,7
30	881	29,4	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

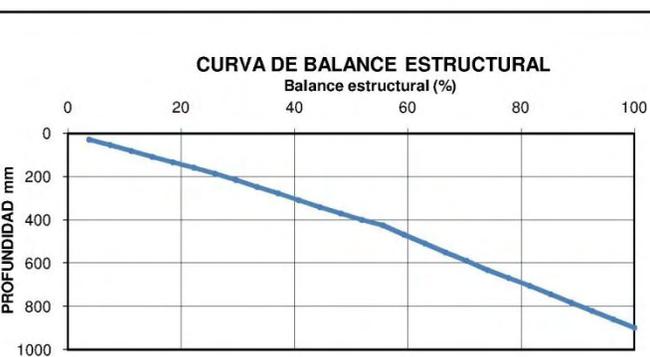
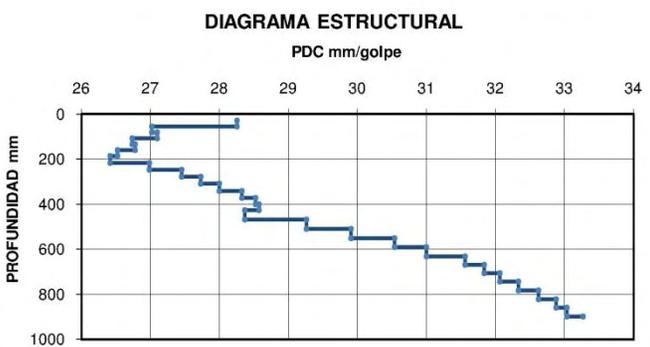
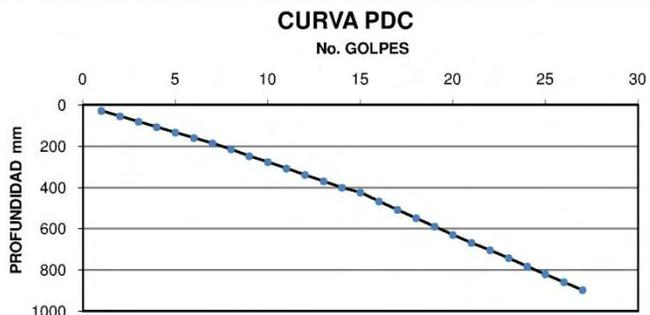
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K38+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	28	28,3	3,7
2	54	27,0	7,4
3	81	27,1	11,1
4	107	26,7	14,8
5	134	26,8	18,5
6	159	26,5	22,2
7	185	26,4	25,9
8	216	27,0	29,6
9	247	27,5	33,3
10	277	27,7	37,0
11	308	28,0	40,7
12	340	28,3	44,4
13	371	28,5	48,1
14	400	28,6	51,9
15	426	28,4	55,6
16	468	29,3	59,3
17	508	29,9	63,0
18	550	30,5	66,7
19	589	31,0	70,4
20	631	31,6	74,1
21	669	31,8	77,8
22	705	32,1	81,5
23	744	32,3	85,2
24	783	32,6	88,9
25	822	32,9	92,6
26	859	33,0	96,3
27	898	33,3	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

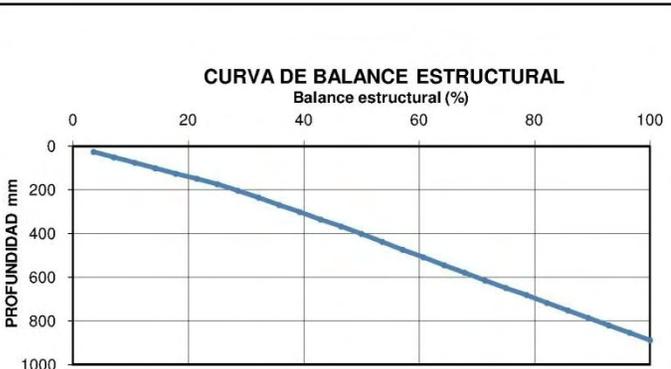
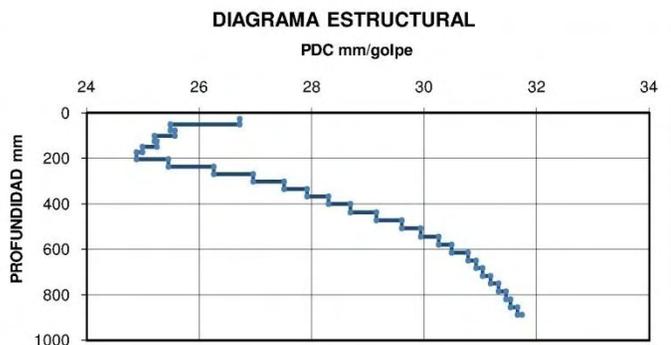
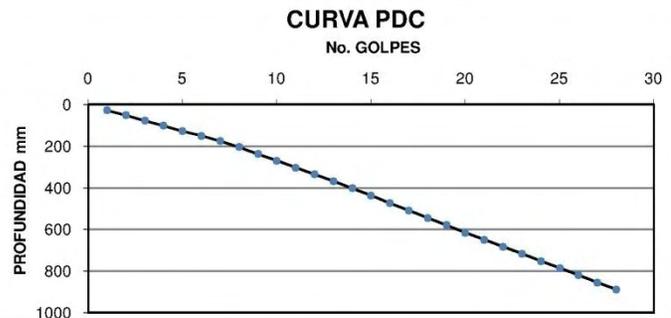
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K39+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	27	26,7	3,6
2	51	25,5	7,1
3	77	25,6	10,7
4	101	25,2	14,3
5	126	25,2	17,9
6	150	25,0	21,4
7	174	24,9	25,0
8	204	25,5	28,6
9	236	26,3	32,1
10	270	27,0	35,7
11	303	27,5	39,3
12	335	27,9	42,9
13	368	28,3	46,4
14	402	28,7	50,0
15	437	29,1	53,6
16	474	29,6	57,1
17	509	29,9	60,7
18	545	30,3	64,3
19	579	30,5	67,9
20	616	30,8	71,4
21	649	30,9	75,0
22	683	31,0	78,6
23	717	31,2	82,1
24	752	31,3	85,7
25	786	31,5	89,3
26	820	31,5	92,9
27	855	31,7	96,4
28	889	31,7	100,0



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

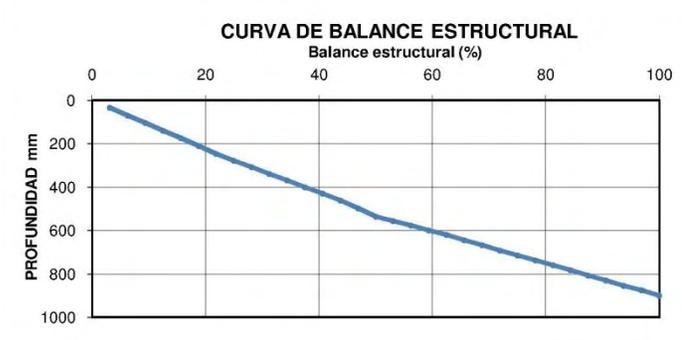
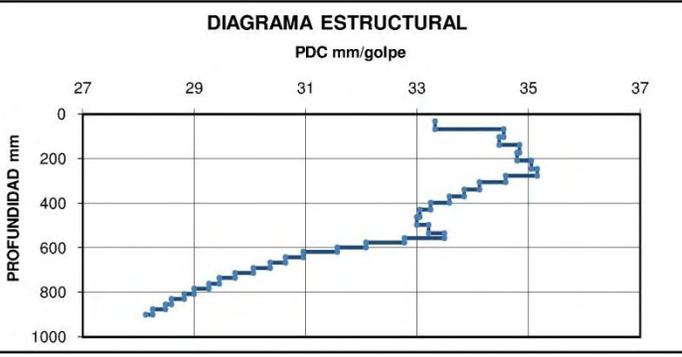
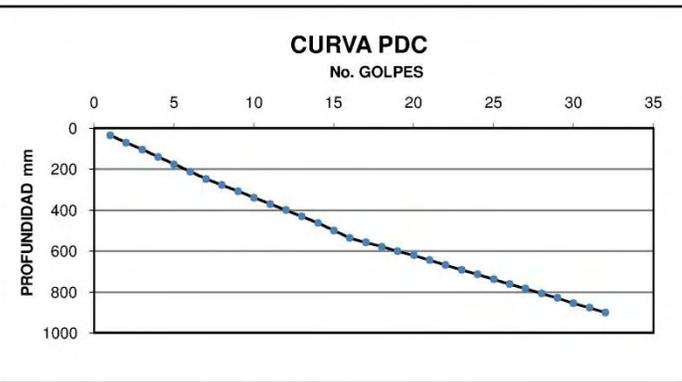
Fuente: Esta investigación

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K39+500
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	33	33,3	3,1
2	69	34,6	6,3
3	103	34,5	9,4
4	139	34,8	12,5
5	174	34,8	15,6
6	210	35,0	18,8
7	246	35,2	21,9
8	277	34,6	25,0
9	307	34,1	28,1
10	338	33,8	31,3
11	369	33,6	34,4
12	399	33,2	37,5
13	430	33,1	40,6
14	462	33,0	43,8
15	498	33,2	46,9
16	536	33,5	50,0
17	557	32,8	53,1
18	577	32,1	56,3
19	600	31,6	59,4
20	619	31,0	62,5
21	643	30,6	65,6
22	668	30,4	68,8
23	691	30,1	71,9
24	714	29,7	75,0
25	736	29,5	78,1
26	761	29,3	81,3
27	783	29,0	84,4
28	807	28,8	87,5
29	829	28,6	90,6
30	855	28,5	93,8
31	876	28,3	96,9
32	900	28,1	100,0



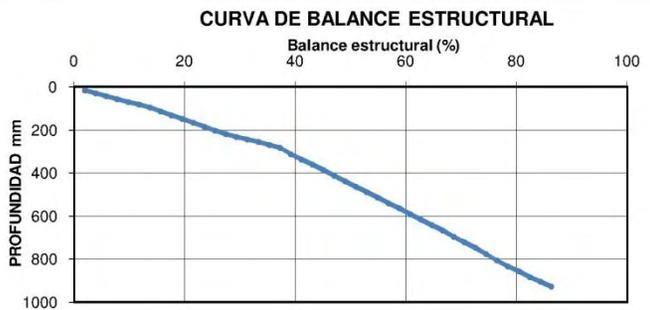
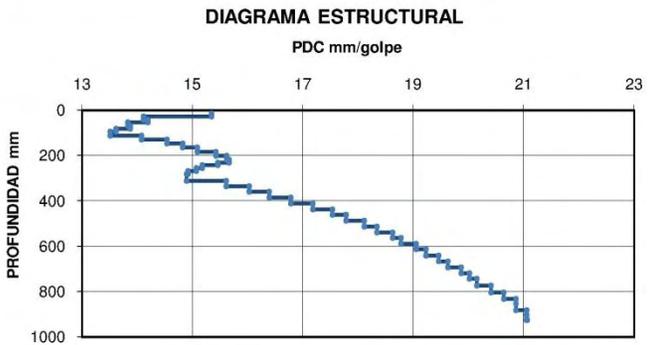
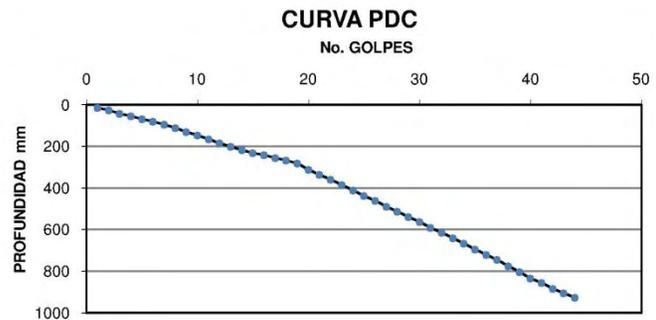
OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**



ENSAYO:	Penetrómetro dinámico de cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil
REFERENCIA:	Carretera: Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago K40+000
FECHA:	Agosto de 2011

No. Golpes	Prof. mm	PDC mm/Golp	Resis %
1	15	15,3	2,0
2	28	14,1	3,9
3	43	14,2	5,9
4	55	13,8	7,8
5	69	13,9	9,8
6	82	13,6	11,8
7	95	13,5	13,7
8	113	14,1	15,7
9	131	14,5	17,6
10	148	14,8	19,6
11	166	15,1	21,6
12	185	15,4	23,5
13	203	15,6	25,5
14	219	15,7	27,5
15	232	15,5	29,4
16	243	15,2	31,4
17	256	15,1	33,3
18	269	14,9	35,3
19	283	14,9	37,3
20	312	15,6	39,2
21	337	16,0	41,2
22	361	16,4	43,1
23	386	16,8	45,1
24	412	17,2	47,1
25	438	17,5	49,0
26	462	17,8	51,0
27	489	18,1	52,9
28	514	18,3	54,9
29	540	18,6	56,9
30	563	18,8	58,8
31	591	19,1	60,8
32	615	19,2	62,7
33	642	19,5	64,7
34	667	19,6	66,7
35	695	19,9	68,6
36	721	20,0	70,6
37	745	20,1	72,5
38	775	20,4	74,5
39	805	20,6	76,5
40	834	20,9	78,4
41	855	20,9	80,4
42	884	21,1	82,4
43	905	21,0	84,3
44	927	21,1	86,3



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

Fuente: Esta investigación

## **ANEXO C**

CONTIENE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CBR. Carretera Pasto-Mocoa, sector El Encano–Santiago K30+000 al K40+000.

# C.B.R. INALTERADO - ENSAYO DE PENETRACIÓN

NORMA I.N.V. E - 148

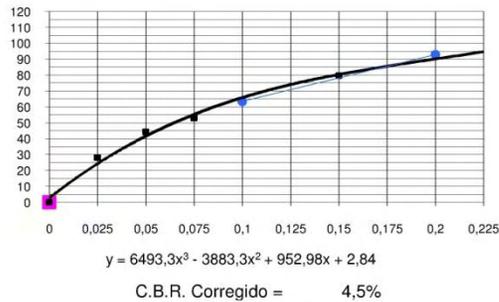


**PROYECTO:** Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil  
**DESCRIPCIÓN:** Carretera Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago Ruta 10 Tramo 1003  
**FECHA:** Agosto de 2011

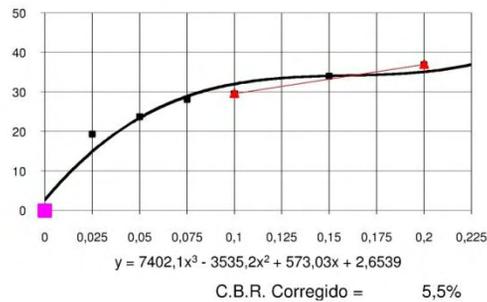
ESTADO	INALTERADO			INALTERADO			INALTERADO			
Expansión (%)	0			0			0			
LOCALIZACIÓN	K30+000			K30+500			K31+000			
Tiempo (min)	Penetración (pulg)	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg²)
0:0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0:30	0,025	13,0	84,4	28,1	7,0	58,0	19,3	4,0	44,9	15,0
01:30	0,050	24,0	132,8	44,3	10,0	71,2	23,7	7,0	58,0	19,3
01:30	0,075	30,0	159,2	53,1	13,0	84,4	28,1	9,0	66,8	22,3
02:00	0,100	37,0	190,1	63,4	14,0	88,8	29,6	10,0	71,2	23,7
02:30	0,150	48,0	238,7	79,6	17,0	102,0	34,0	12,0	80,0	26,7
04:00	0,200	57,0	278,5	92,8	19,0	110,8	36,9	13,0	84,4	28,1
04:30	0,250	61,0	296,3	98,8	21,0	119,6	39,9	13,5	86,6	28,9
06:00	0,300	64,0	309,6	103,2	22,0	124,0	41,3	14,0	88,8	29,6
08:00	0,400	67,0	322,9	107,6	25,0	137,2	45,7	15,0	93,2	31,1
10:00	0,500	69,0	331,8	110,6	27,0	146,0	48,7	15,0	93,2	31,1

Recipiente No.	20	22	15
Peso recipiente (gr)	60,0	60,0	60,0
Peso recipiente + suelo humedo (gr)	180,0	145,0	145,0
Peso recipiente + suelo seco (gr)	150,0	110,0	105,0
Peso suelo seco (gr)	90,0	50,0	45,0
Perdida de peso (gr)	30,0	35,0	40,0
Humedad final	33,3%	70,0%	88,9%

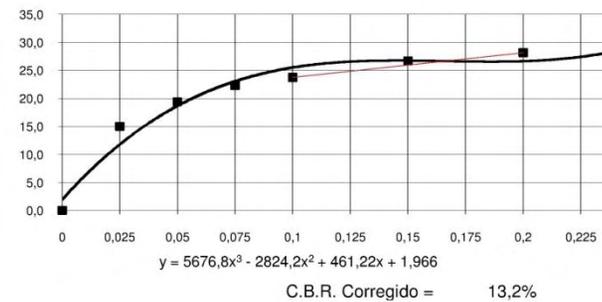
**C.B.R. CORREGIDO**



**C.B.R. CORREGIDO**



**C.B.R. CORREGIDO**



Fuente: Laboratorio de suelos INGPAVI

# C.B.R. INALTERADO - ENSAYO DE PENETRACIÓN

## NORMA I.N.V. E - 148

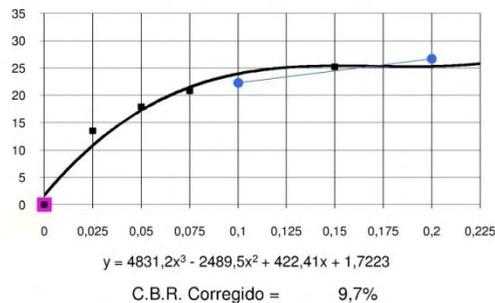


**PROYECTO:** Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil  
**DESCRIPCIÓN:** Carretera Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago Ruta 10 Tramo 1003  
**FECHA:** Agosto de 2011

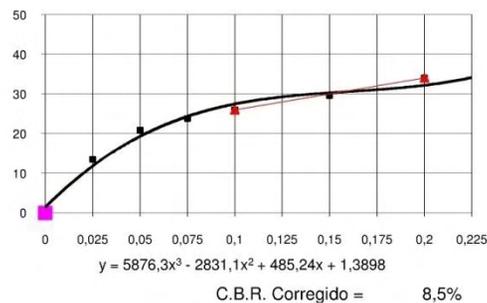
ESTADO		INALTERADO			INALTERADO			INALTERADO		
Expansión (%)		0			0			0		
LOCALIZACIÓN		K31+500			K32+000			K32+500		
Tiempo (min)	Penetración (pulg)	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )
0:0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0:30	0,025	3,0	40,5	13,5	3,0	40,5	13,5	2,5	38,3	12,8
01:00	0,050	6,0	53,6	17,9	8,0	62,4	20,8	4,0	44,9	15,0
01:30	0,075	8,0	62,4	20,8	10,0	71,2	23,7	6,0	53,6	17,9
02:00	0,100	9,0	66,8	22,3	11,5	77,8	25,9	7,0	58,0	19,3
02:30	0,150	11,0	75,6	25,2	14,0	88,8	29,6	7,5	60,2	20,1
04:00	0,200	12,0	80,0	26,7	17,0	102,0	34,0	8,0	62,4	20,8
04:30	0,250	12,0	80,0	26,7	19,0	110,8	36,9	9,0	66,8	22,3
06:00	0,300	13,0	84,4	28,1	21,0	119,6	39,9	10,0	71,2	23,7
08:00	0,400	14,0	88,8	29,6	25,0	137,2	45,7	10,5	73,4	24,5
10:00	0,500	15,0	93,2	31,1	29,0	154,8	51,6	11,0	75,6	25,2

Recipiente No.	20	22	15
Peso recipiente (gr)	60,0	60,0	60,0
Peso recipiente + suelo humedo (gr)	125,0	210,0	180,0
Peso recipiente + suelo seco (gr)	105,0	155,0	125,0
Peso suelo seco (gr)	45,0	95,0	65,0
Perdida de peso (gr)	20,0	55,0	55,0
Humedad final	44,4%	57,9%	84,6%

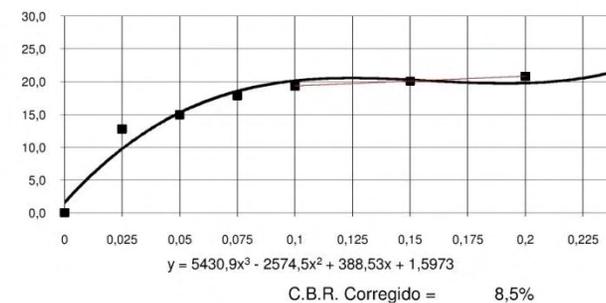
**C.B.R. CORREGIDO**



**C.B.R. CORREGIDO**



**C.B.R. CORREGIDO**



Fuente: Laboratorio de suelos INGPAVI

# C.B.R. INALTERADO - ENSAYO DE PENETRACIÓN

NORMA I.N.V. E - 148



**PROYECTO:** Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil

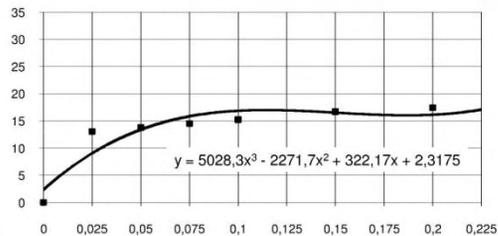
**DESCRIPCIÓN:** Carretera Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago Ruta 10 Tramo 1003

**FECHA:** Agosto de 2011

ESTADO		INALTERADO			INALTERADO			INALTERADO		
Expansión (%)		0			0			0		
LOCALIZACIÓN		K33+000			K33+500			K34+000		
Tiempo (min)	Penetración (pulg)	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )
0:0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0:30	0,025	3,1	39,1	13,0	2,8	38,1	12,7	2,5	38,3	12,8
01:00	0,050	3,6	41,3	13,8	3,3	40,3	13,4	3,0	40,5	13,5
01:30	0,075	4,1	43,5	14,5	3,8	42,5	14,2	3,5	42,7	14,2
02:00	0,100	4,6	45,7	15,2	4,3	44,7	14,9	4,0	44,9	15,0
02:30	0,150	5,6	50,0	16,7	5,3	49,0	16,3	5,0	49,2	16,4
04:00	0,200	6,1	52,2	17,4	5,8	51,2	17,1	5,5	51,4	17,1
04:30	0,250	7,1	56,6	18,9	6,8	55,6	18,5	6,5	55,8	18,6
06:00	0,300	7,6	58,8	19,6	7,3	57,8	19,3	7,0	58,0	19,3
08:00	0,400	9,1	65,4	21,8	8,8	64,4	21,5	8,5	64,6	21,5
10:00	0,500	10,6	72,0	24,0	10,3	71,0	23,7	10,0	71,2	23,7

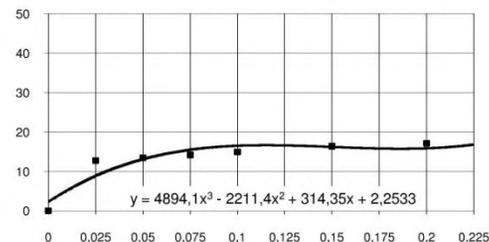
	20	22	15
Recipiente No.	20	22	15
Peso recipiente (gr)	69,0	67,0	65,0
Peso recipiente + suelo humedo (gr)	189,0	187,0	185,0
Peso recipiente + suelo seco (gr)	129,0	127,0	125,0
Peso suelo seco (gr)	60,0	60,0	60,0
Perdida de peso (gr)	60,0	60,0	60,0
Humedad final	100,0%	100,0%	100,0%

**C.B.R. CORREGIDO**



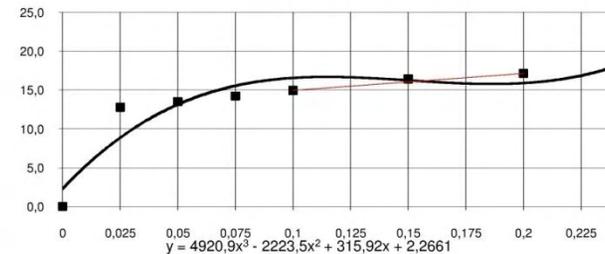
C.B.R. Corregido = 7,1%

**C.B.R. CORREGIDO**



C.B.R. Corregido = 5,3%

**C.B.R. CORREGIDO**



C.B.R. Corregido = 5,0%

Fuente: Laboratorio de suelos INGPAVI

# C.B.R. INALTERADO - ENSAYO DE PENETRACIÓN

## NORMA I.N.V. E - 148



**PROYECTO:** Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil

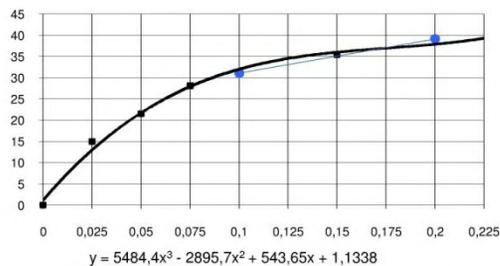
**LOCALIZACIÓN:** Carretera Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago Ruta 10 Tramo 1003

**FECHA:** Agosto de 2011

ESTADO		INALTERADO			INALTERADO			INALTERADO		
Expansión (%)		0			0			0		
LOCALIZACIÓN		K34+500			K35+000			K35+500		
Tiempo (min)	Penetración (pulg)	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )
0:0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0:30	0,025	4,0	44,9	15,0	1,5	33,9	11,3	3,0	40,5	13,5
01:00	0,050	8,5	64,6	21,5	3,0	40,5	13,5	5,0	49,2	16,4
01:30	0,075	13,0	84,4	28,1	3,5	42,7	14,2	8,0	62,4	20,8
02:00	0,100	15,0	93,2	31,1	4,0	44,9	15,0	9,0	66,8	22,3
02:30	0,150	18,0	106,4	35,5	5,5	51,4	17,1	13,0	84,4	28,1
04:00	0,200	20,5	117,4	39,1	6,5	55,8	18,6	14,0	88,8	29,6
04:30	0,250	22,0	124,0	41,3	7,0	58,0	19,3	15,0	93,2	31,1
06:00	0,300	24,0	132,8	44,3	8,0	62,4	20,8	16,0	97,6	32,5
08:00	0,400	27,0	146,0	48,7	8,5	64,6	21,5	16,5	99,8	33,3
10:00	0,500	29,0	154,8	51,6	9,5	69,0	23,0	17,0	102,0	34,0

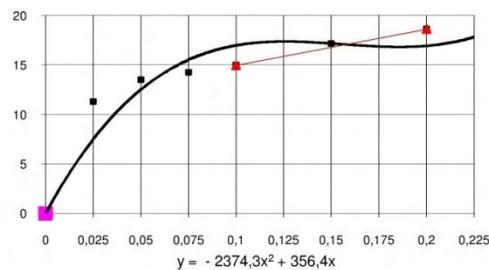
Recipiente No.	20	22	15
Peso recipiente (gr)	65,0	60,0	65,0
Peso recipiente + suelo humedo (gr)	200,0	140,0	135,0
Peso recipiente + suelo seco (gr)	140,0	100,0	100,0
Peso suelo seco (gr)	75,0	40,0	35,0
Perdida de peso (gr)	60,0	40,0	35,0
Humedad final	80,0%	100,0%	100,0%

**C.B.R. CORREGIDO**



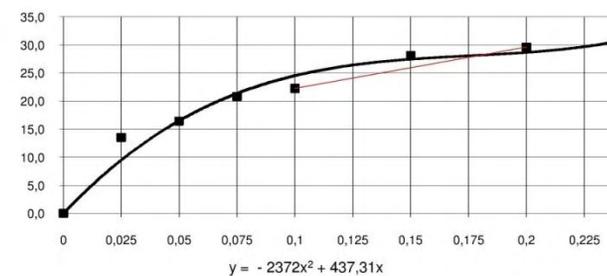
C.B.R. Corregido = 6,1%

**C.B.R. CORREGIDO**



C.B.R. Corregido = 6,0%

**C.B.R. CORREGIDO**



C.B.R. Corregido = 8,3%

Fuente: Laboratorio de suelos INGPAVI

# C.B.R. INALTERADO - ENSAYO DE PENETRACIÓN

NORMA I.N.V. E - 148



**PROYECTO:** Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil

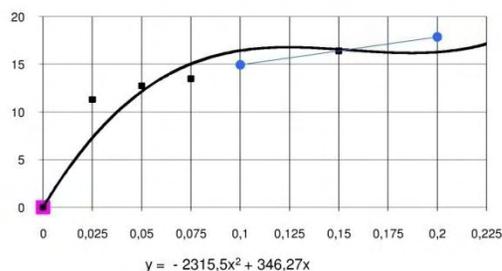
**LOCALIZACION:** Carretera Pasto - Mocoa, Sector El Encano - Santiago Ruta 10 Tramo 1003

**FECHA:** Agosto de 2011

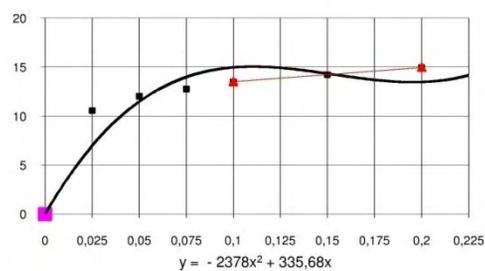
ESTADO		INALTERADO			INALTERADO			INALTERADO		
Expansión (%)		0			0			0		
LOCALIZACIÓN		K36+000			K36+500			K37+000		
Tiempo (min)	Penetración (pulg)	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )
0:0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0:30	0,025	1,5	33,9	11,3	1,0	31,7	10,6	2,0	36,1	12,0
01:00	0,050	2,5	38,3	12,8	2,0	36,1	12,0	3,5	42,7	14,2
01:30	0,075	3,0	40,5	13,5	2,5	38,3	12,8	5,5	51,4	17,1
02:00	0,100	4,0	44,9	15,0	3,0	40,5	13,5	7,0	58,0	19,3
02:30	0,150	5,0	49,2	16,4	3,5	42,7	14,2	10,0	71,2	23,7
04:00	0,200	6,0	53,6	17,9	4,0	44,9	15,0	12,5	82,2	27,4
04:30	0,250	6,5	55,8	18,6	4,5	47,0	15,7	15,0	93,2	31,1
06:00	0,300	7,0	58,0	19,3	5,0	49,2	16,4	17,0	102,0	34,0
08:00	0,400	8,0	62,4	20,8	5,5	51,4	17,1	20,0	115,2	38,4
10:00	0,500	8,5	64,6	21,5	6,0	53,6	17,9	22,0	124,0	41,3

Recipiente No.	20	22	15
Peso recipiente (gr)	60,0	60,0	140,0
Peso recipiente + suelo humedo (gr)	125,0	160,0	285,0
Peso recipiente + suelo seco (gr)	90,0	95,0	210,0
Peso suelo seco (gr)	30,0	35,0	70,0
Perdida de peso (gr)	35,0	65,0	75,0
Humedad final	116,7%	185,7%	107,1%

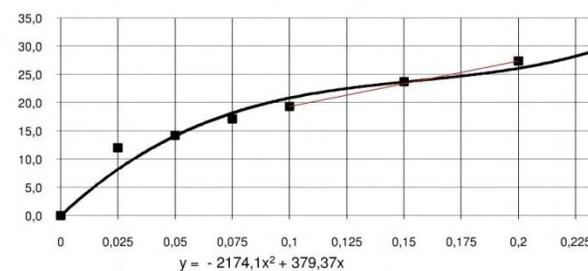
**C.B.R. CORREGIDO**



**C.B.R. CORREGIDO**



**C.B.R. CORREGIDO**



Fuente: Laboratorio de suelos INGPAVI

# C.B.R. INALTERADO - ENSAYO DE PENETRACIÓN

NORMA I.N.V. E - 148



**PROYECTO:** Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil

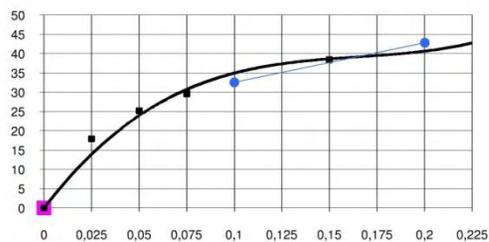
**LOCALIZACIÓN:** Carretera Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago Ruta 10 Tramo 1003

**FECHA:** Agosto de 2011

ESTADO		INALTERADO			INALTERADO			INALTERADO		
Expansión (%)		0			0			0		
LOCALIZACIÓN		K37+500			K38+000			K38+500		
Tiempo (min)	Penetración (pulg)	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )
0:0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0:30	0,025	6,0	53,6	17,9	8,0	53,8	17,9	8,0	62,4	20,8
01:00	0,050	11,0	75,6	25,2	15,0	75,8	25,3	15,0	93,2	31,1
01:30	0,075	14,0	88,8	29,6	22,0	89,0	29,7	22,0	124,0	41,3
02:00	0,100	16,0	97,6	32,5	26,0	97,8	32,6	26,0	141,6	47,2
02:30	0,150	20,0	115,2	38,4	31,0	115,4	38,5	31,0	163,6	54,5
04:00	0,200	23,0	128,4	42,8	34,5	128,6	42,9	34,5	179,1	59,7
04:30	0,250	25,0	137,2	45,7	37,0	137,4	45,8	37,0	190,1	63,4
06:00	0,300	27,0	146,0	48,7	40,0	146,2	48,7	40,0	203,3	67,8
08:00	0,400	30,0	159,2	53,1	45,0	159,4	53,1	45,0	225,4	75,1
10:00	0,500	33,0	172,4	57,5	49,0	172,6	57,5	49,0	243,1	81,0

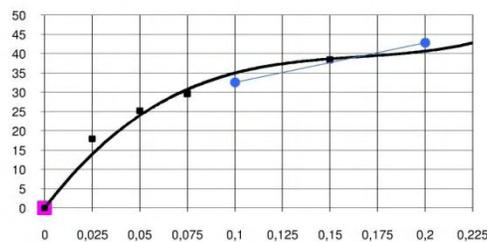
Recipiente No.	20	22	15
Peso recipiente (gr)	140,0	141,0	145,0
Peso recipiente + suelo humedo (gr)	270,0	271,0	300,0
Peso recipiente + suelo seco (gr)	225,0	226,0	250,0
Peso suelo seco (gr)	85,0	85,0	105,0
Perdida de peso (gr)	45,0	45,0	50,0
Humedad final	52,9%	52,9%	47,6%

**C.B.R. CORREGIDO**



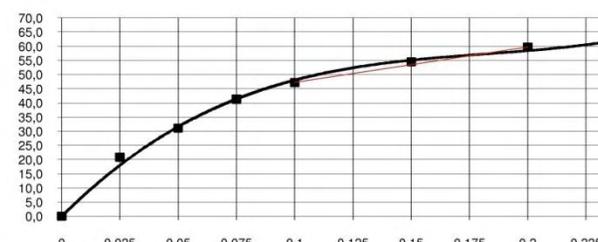
$y = -3709,2x^2 + 645,74x$   
C.B.R. Corregido = 4,9%

**C.B.R. CORREGIDO**



$y = -3709,2x^2 + 645,74x$   
C.B.R. Corregido = 7,1%

**C.B.R. CORREGIDO**



$y = -4185,3x^2 + 822,61x$   
C.B.R. Corregido = 6,9%

Fuente: Laboratorio de suelos INGEPAVI

## C.B.R. INALTERADO - ENSAYO DE PENETRACIÓN

### NORMA I.N.V. E - 148



**PROYECTO:** Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico de cono para el laboratorio de suelos de ingeniería civil

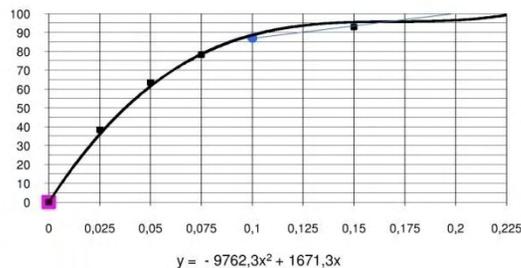
**LOCALIZACIÓN:** Carretera Pasto - Mocoa, Sector El Encano -Santiago Ruta 10 Tramo 1003

**FECHA:** Agosto de 2011

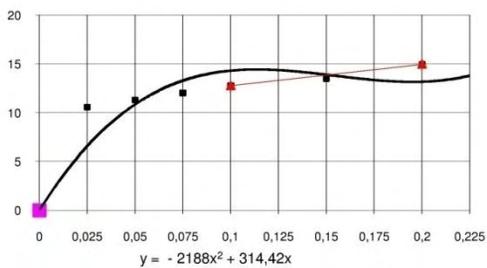
ESTADO		INALTERADO			INALTERADO			INALTERADO		
Expansión (%)		0			0			0		
LOCALIZACIÓN		K39+000			K39+500			K40+000		
Tiempo (min)	Penetración (pulg)	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )	Lectura	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg <sup>2</sup> )
0:0	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0:30	0,025	20,0	115,2	38,4	1,0	31,7	10,6	1,5	33,9	11,3
01:00	0,050	37,0	190,1	63,4	1,5	33,9	11,3	2,5	38,3	12,8
01:30	0,075	47,0	234,3	78,1	2,0	36,1	12,0	3,0	40,5	13,5
02:00	0,100	53,0	260,8	86,9	2,5	38,3	12,8	3,5	42,7	14,2
02:30	0,150	57,0	278,5	92,8	3,0	40,5	13,5	4,0	44,9	15,0
04:00	0,200	62,0	300,7	100,2	4,0	44,9	15,0	4,0	44,9	15,0
04:30	0,250	65,0	314,0	104,7	4,0	44,9	15,0	4,5	47,0	15,7
06:00	0,300	68,0	327,3	109,1	4,5	47,0	15,7	5,0	49,2	16,4
08:00	0,400	78,0	371,7	123,9	5,0	49,2	16,4	5,5	51,4	17,1
10:00	0,500	85,0	402,9	134,3	6,0	53,6	17,9	6,0	53,6	17,9

Recipiente No.	20	22	15
Peso recipiente (gr)	65,0	140,0	130,0
Peso recipiente + suelo humedo (gr)	195,0	275,0	245,0
Peso recipiente + suelo seco (gr)	150,0	200,0	170,0
Peso suelo seco (gr)	85,0	60,0	40,0
Perdida de peso (gr)	45,0	75,0	75,0
Humedad final	52,9%	125,0%	187,5%

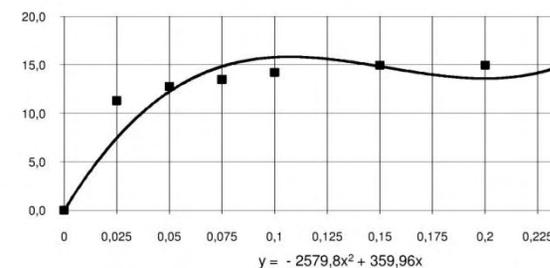
**C.B.R. CORREGIDO**



**C.B.R. CORREGIDO**



**C.B.R. CORREGIDO**



Fuente: Laboratorio de suelos INGPAVI