

**CORRELACIÓN P.D.C. CON C.B.R. PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE  
SUBA**

**MONOGRAFÍA**

**Ing. JOSE FERNANDO OSORIO MARTINEZ**

**Ing. ANA NICELY CASAS GERENA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**BOGOTÁ D.C.**

**2011**

**CORRELACIÓN P.D.C. CON C.B.R. PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE  
SUBA**

**Ing. JOSE FERNANDO OSORIO MARTINEZ**

**Ing. ANA NICELY CASAS GERENA**

**Monografía presentada como requisito  
para optar al título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos**

**Director: Ing. MARCELA SALCEDO QUIJANO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
BOGOTÁ D.C.**

**2011**

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD**

MAYOR GENERAL (r) EDUARDO ANTONIO HERRERA BERBEL

Rector

MAYOR GENERAL (r) GABRIEL EDUARDO CONTRERAS OCHOA

Vicerrector General

DRA. MARTA LUCIA BAHAMÓN JARA

Vicerrectora Académica

DR. ERNESTO VILLAREAL SILVA Ph. D.

Decano Facultad de Ingeniería

ING. PAOLA ANDREA NIÑO SUÁREZ Ph. D.

Directora Posgrados Facultad de Ingeniería

ING. DIEGO CORREAL MEDINA Ms.C.

Director Programa de Ingeniería Civil

## APROBACIÓN

La Monografía titulada “**CORRELACIÓN P.D.C. CON C.B.R. PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE SUBA**”, presentada por los Ingenieros Civiles José Fernando Osorio Martínez y Ana Nicely Casas Gerena, en cumplimiento de los requisitos para optar al título de “Especialista en Ingeniería de Pavimentos”, fue aprobada por el Director.

---

Ing. MARCELA SALCEDO QUIJANO

Director del proyecto

Bogotá, Abril de 2011

## **Advertencia**

La Universidad Militar Nueva Granada no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados por los autores en sus respectivos trabajos de grado, sólo vela porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque el trabajo no contenga ataques personales y únicamente se vea en él, anhelo de buscar la verdad científica.

(Artículo 60 “de la responsabilidad sobre los trabajos de grado”. Reglamento Estudiantil).

*Gracias a Dios por todo lo que tengo y todo lo que  
he logrado en mi vida hasta el momento.*

*Gracias a mi familia que siempre me apoyo y a mi hija  
fuente de toda mi alegría y motivación para ser una  
mejor persona y profesional.*

*Gracias a mi Directora y a todo el equipo de “LFO  
Ingenieros de Suelos LTDA” por todo el apoyo que  
nos brindaron en la realización de este trabajo, sin  
su ayuda no hubiera sido posible.*

*Gracias a “D&E Diseños y Estructuras Ingenieros  
Civiles LTDA” por toda la paciencia y el apoyo  
en el transcurso de la Especialización.*

*JOSE FERNANDO OSORIO MARTÍNEZ*

*Gracias a Dios por la oportunidad que me ha  
brindado de ser una Profesional y Especialista  
y por todas las cosas buenas  
que me ha dado en la vida.*

*Gracias a mi familia, a mi querida Madre,  
a mi hermano Willman Casas Gerena  
y a mi hijo Carlos E. Acosta Casas por ser  
la motivación de todo lo que hago diariamente.*

*Gracias a mi Directora y a todo el equipo de “LFO  
Ingenieros de Suelos LTDA” por todo el apoyo que  
nos brindaron en la realización de este trabajo, sin  
su ayuda no hubiera sido posible.*

*ANA NICELY CASAS GERENA*

## TABLA DE CONTENIDO

ANTECEDENTES.....	8
RESUMEN.....	9
1. MARCO DE REFERENCIA.....	11
1.1. ENSAYO DE PENETRACIÓN DINAMICA DE CONO (P.D.C.).....	11
1.1.1. DEFINICIÓN DEL P.D.C. ....	11
1.1.2. ALTERNATIVAS DE USO DEL P.D.C.....	11
1.1.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO P.D.C. ....	12
1.1.4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EN LABORATORIO .....	13
1.1.5. VERSATILIDAD .....	14
1.1.6. APLICABILIDAD Y LIMITACIONES .....	15
1.2. ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) .....	16
1.2.1. ORIGEN.....	16
1.2.2. DEFINICIÓN DE C.B.R. ....	16
1.2.3. VALORES DE CARGA UNITARIA .....	17
1.2.4. ENERGIAS DE COMPACTACIÓN.....	18
1.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA INFRAESTRUCTURA DE PAVIMENTOS .....	19
1.2.6. EL MÉTODO C.B.R.....	19
2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE .....	29
2.1. ESTUDIOS DE SUELOS PARA VIAS.....	29
2.1.1. PROYECTO CALLE 142 Y 142C CAFAM-GAVILANES.....	29
2.1.2. PROYECTO VIAS ALMUVA .....	34
2.1.3. PROYECTO VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.....	39

2.1.4. PROYECTO FARMATODO 167.....	48
2.1.5. PROYECTO VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	53
2.1.6. PROYECTO CALLE 150 - REFOUS .....	60
3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	66
4. ANALISIS DE RESULTADOS .....	71
5. CONCLUSIONES .....	72
6. BIBLIOGRAFIA .....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Equipo para P.D.C.....	12
Figura 2. Curva P.D.C.....	13
Figura 3. Curvas que relacionan la hinca del pistón con las presiones aplicadas. ....	27
Figura 4. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. # 1 - Proyecto Calle 142 y 142C CAFAM-GAVILANES.....	31
Figura 5. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. # 2 - Proyecto Calle 142 y 142C CAFAM-GAVILANES.....	32
Figura 6. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto Vías ALMUVA. ....	36
Figura 7. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto Vías ALMUVA. ....	37
Figura 8. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto Vías ALMUVA. ....	38
Figura 9. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #4 - Proyecto Vías ALMUVA. ....	39
Figura 10. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.....	43
Figura 11. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.....	44
Figura 12. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.....	45
Figura 13. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #4 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.....	46
Figura 14. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #5 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.....	47
Figura 15. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #6 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.....	48
Figura 16. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto FARMATODO 167.....	51
Figura 17. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto FARMATODO 167.....	52
Figura 18. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto FARMATODO 167.....	53
Figura 19. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	56
Figura 20. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	57
Figura 21. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	58
Figura 22. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #4 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	59
Figura 23. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #5 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	60
Figura 24. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto CALLE 150A – REFOUS.....	62
Figura 25. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto CALLE 150A – REFOUS.....	63
Figura 26. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto CALLE 150A – REFOUS.....	64

Figura 27. Gráfica de P.D.C. de campo – P.D.C. #4 - Proyecto CALLE 150A – REFOUS.....	65
Figura 28. Esquema de procesamiento de la información. ....	66
Figura 29. Correlación P.D.C. vs C.B.R. y línea de tendencia. ....	68
Figura 30. Comparación Gráficas P.D.C. vs C.B.R. y línea de tendencia.....	70

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto Calle 142 y 142C CAFAM-GAVILANES. ....	31
Tabla 2. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto Calle 142 y 142C CAFAM-GAVILANES. ....	32
Tabla 3. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto Vías ALMUVA .....	35
Tabla 4. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto Vías ALMUVA .....	36
Tabla 5. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto Vías ALMUVA .....	37
Tabla 6. Datos P.D.C. 4 de campo – Proyecto Vías ALMUVA .....	38
Tabla 7. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA. ....	42
Tabla 8. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA. ....	43
Tabla 9. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA. ....	44
Tabla 10. Datos P.D.C. 4 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA. ....	45
Tabla 11. Datos P.D.C. 5 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA. ....	46
Tabla 12. Datos P.D.C. 6 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA. ....	47
Tabla 13. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto FARMATODO 167. ....	50
Tabla 14. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto FARMATODO 167. ....	51
Tabla 15. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto FARMATODO 167. ....	52
Tabla 16. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	55
Tabla 17. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	56
Tabla 18. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	57
Tabla 19. Datos P.D.C. 4 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	58
Tabla 20. Datos P.D.C. 5 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.....	59
Tabla 21. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto CALLE 150A - REFOUS.....	62
Tabla 22. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto CALLE 150A - REFOUS.....	63

Tabla 23. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto CALLE 150A - REFOUS.....	64
Tabla 24. Datos P.D.C. 4 de campo – Proyecto CALLE 150A - REFOUS.....	65
Tabla 25. Datos Representativos para la correlación P.D.C. con C.B.R.....	67
Tabla 26. Datos para comparación de Gráficas P.D.C. vs C.B.R. ....	69

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO 1 – DATOS DE P.D.C. DE CAMPO.

ANEXO 2 – RESULTADOS DE LOS ENSAYOS C.B.R.

ANEXO 3 – MAPAS DE SONDEOS.

## **ANTECEDENTES**

El Penetrómetro Dinámico de Cono (P.D.C) fue desarrollado por Van Vuuren (1969) y fue empleado durante una extensiva investigación del comportamiento de los pavimentos a cargo del Departamento de Caminos del “Transvaal Provincial Administration” de Sudáfrica durante 1973, en un esfuerzo por estimar en forma simple la resistencia in-situ de los materiales de sub-rasante y capas que conforman el pavimento.

Nuestro trabajo se basa en el modelo preparado por “DEPARTMENT OF THE ARMY – US Army Corps of Engineers”, que describe la aplicación del Penetrómetro Dinámico de Cono para determinar la resistencia de suelos para pavimentos.

## RESUMEN

Este trabajo presenta la correlación P.D.C y C.B.R. obtenida mediante la recopilación de datos de campo de ensayos in-situ de P.D.C. y resultados de C.B.R. de laboratorio realizados para proyectos viales en la localidad de Suba. Con lo anterior, se pretenden mejorar la confiabilidad en la utilización del P.D.C. en la evaluación de los suelos para pavimentos.

El objetivo principal de esta monografía es determinar la correlación del P.D.C. con C.B.R. para suelos en la localidad de Suba y comparar dicha correlación con la ecuación tomada del manual “DESCRIPTION AND APPLICATION OF DUAL MASS DYNAMIC CONE PENETROMETER - US Army Corps of Engineers”, la cual es utilizada para la evaluación de la capacidad de los suelos en la ciudad de Bogotá D.C. (Colombia).

Dado que hallar la correlación P.D.C. con C.B.R. para cada sector del país es un tema muy extenso, hemos limitado el alcance de este trabajo para determinar dicha correlación en un sector específico de la ciudad, de tal forma que fuera posible conseguir la información de datos de campo y resultados de laboratorios requerida para tal fin.

Con los datos de campo de P.D.C. y resultados de C.B.R. de laboratorio de varios estudios de suelo para proyectos viales en la Localidad de Suba, se determinó una línea de tendencia entre el número de golpes P.D.C. y el C.B.R. con el fin de comparar dicha tendencia con la obtenida al graficar la ecuación del manual del “US Army Corps of Engineers”.

Los resultados de C.B.R. son menores con la correlación que obtuvimos para la localidad de Suba comparados con los resultados de C.B.R. de la ecuación del “US Army Corps of Engineers”. Para efectos de este trabajo, se considera que no es viable aplicar la ecuación del “US Army Corps of Engineers” para suelos colombianos, ya que los resultados obtenidos pueden no representar correctamente el comportamiento y la capacidad de soporte de nuestros suelos.

Por lo anterior, se considera ideal calibrar una ecuación para cada zona del país, con una mayor cantidad de datos y un alcance más extenso, de tal manera que sea más confiable en el futuro utilizar el P.D.C. para la evaluación de suelos para pavimentos.

## **1. MARCO DE REFERENCIA**

### **1.1. ENSAYO DE PENETRACIÓN DINAMICA DE CONO (P.D.C.)**

#### **1.1.1. DEFINICIÓN DEL P.D.C.**

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 de todas las capas de la estructura hasta una profundidad de auscultación determinada.

El instrumento P.D.C., 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 éstos se encuentran en el momento del ensayo.

#### **1.1.2. ALTERNATIVAS DE USO DEL P.D.C.**

Entre los usos del ensayo podemos destacar:

- Campaña de reconocimiento rápido del terreno.
- Verificación de la eficiencia de los equipos de compactación utilizados en obra.
- Detección e identificación de anomalías en alguna o algunas de las capas una vez construidas.
- Seguimiento del comportamiento estructural del camino y análisis de la influencia de las sollicitaciones (tránsito y clima).
- Determinar el C.B.R. de la Sub-rasante.

### 1.1.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO P.D.C.

El equipo P.D.C., consta de 3 cuerpos principales (ver figura 1):

- La regla de medición de la profundidad calibrada en centímetros y pulgadas.
- La lanza de penetración y en el extremo roscado un cono de acero templado con un ángulo de 60°.
- El eje guía, en el cual se encuentra instalada la masa de caída libre montada bajo un tope superior y uno inferior.

El principio de funcionamiento es muy simple; una sonda con su extremo en forma de cono penetra a través de las capas del terreno en forma continua bajo la acción dinámica de una masa "M" que cae libremente desde una altura "H", ambas fijas y pre-establecidas. Este ensayo no toma muestras.

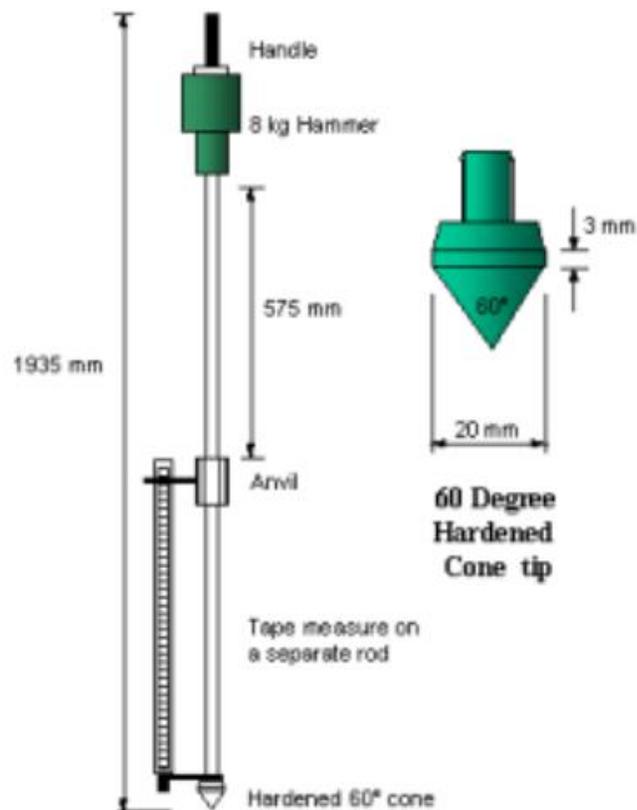


Figura 1. Equipo para P.D.C.

#### 1.1.4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EN LABORATORIO

La operación en laboratorio del P.D.C., se realiza en forma expeditiva entre dos personas. Durante el transcurso del ensayo se mide la cantidad de milímetros que penetra la lanza para un número determinado de golpes que se selecciona arbitrariamente, de acuerdo con la resistencia de los estratos al ser atravesados.

##### 1.1.4.1. Curva P.D.C.

Consiste en una representación del progreso de la penetración del equipo a través de la estructura del pavimento en profundidades. En la Figura 2, las ordenadas indican las profundidades hasta los 800 mm (en aplicaciones de capacidad de soporte amplias como bases y sub-bases para aeropuertos). Y en las abscisas el número acumulado de golpes para alcanzar dichas profundidades.

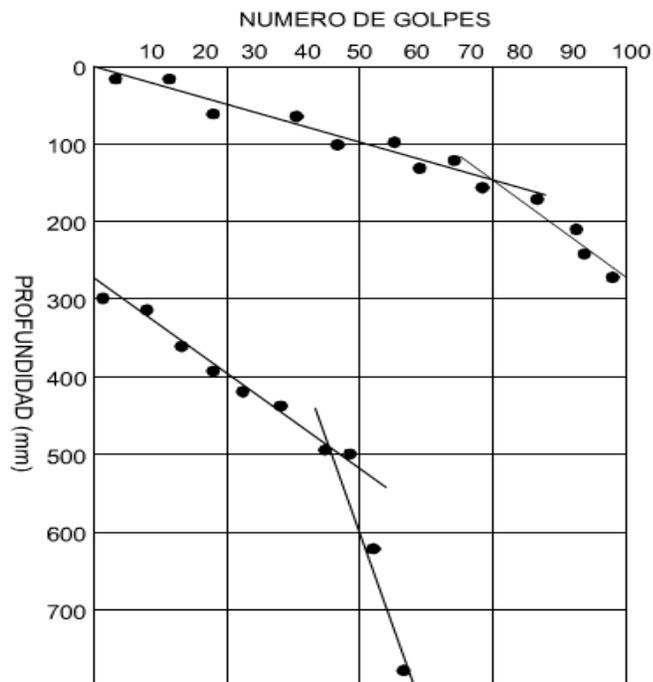


Figura 2. Curva P.D.C.

#### 1.1.4.2. Número P.D.C. (DN)

Define la penetración del penetrómetro a través de una capa específica medida en mm/golpe. Por ejemplo:

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

#### 1.1.5. VERSATILIDAD

Para un determinado proyecto se escogen el tipo y las dimensiones del cono que se va a emplear. Los hay recuperables y no recuperables. Si se emplea un cono recuperable, éste debe ir roscado al final del varillaje. En este caso se requerirá mayor fuerza para recuperar el varillaje con el cono en su extremo.

Cuando se emplea un cono no recuperable, éste va ajustado al varillaje sin unión de rosca. Al terminar el sondeo se retira el varillaje del terreno, quedando perdido el cono. En general los conos tienen un ángulo de 60° en su vértice y un diámetro de 1.4" – 1.5", ligeramente mayor que el diámetro de la tubería o varilla, el cual es, generalmente de 1".

Dicha diferencia de diámetros produce una reducción de la fricción lateral suelo-varillaje durante el proceso de hincado por golpes, concentrando la energía suministrada en medir la resistencia a la penetración del cono situado en la punta.

Se pueden escoger convenientemente el peso del martillo o pesa y la distancia de caída libre. En un proyecto específico la estrategia consiste en calibrar los resultados de este ensayo de penetración dinámica de cono para un determinado peso del martillo, una determinada altura de caída y una longitud específica de penetración, con los resultados del ensayo de penetración estándar, SPT, ejecutado en un lugar muy cercano. Una vez obtenida su calibración se ejecuta

el sondeo con penetración dinámica de cono, en muchos sitios en forma económica y rápida, complementando la exploración del suelo de una gran área.

Dos esquemas muy conocidos de ensayos P.D.C. son:

Diámetro del cono de acero = 1.4", cono no recuperable, diámetro exterior del varillaje = 1", peso del martillo = 63.5 kg (140 Lb), altura de caída = 76.2 cm (30"). De acuerdo con Sowers y Sowers, el número de golpes necesarios para hincar 30 cm este cono es comparable con el número de golpes/pie,  $N$ , del ensayo de penetración estándar.

Diámetro del cono de acero de 60° = 1.5", cono recuperable con rosca para acople a tubería de 1" de diámetro exterior, peso del martillo = 18.1 kg (40 Lb) y una altura de caída de 45.7 cm (18"). Se puede estimar la compacidad de suelos granulares a partir del número de golpes necesario para lograr una penetración de 30.5 cm (1 ft),  $N_c$ . En este caso la correlación que se ha establecido (Parcher y Means, 1968)  $N = CN_c$ , tiene un coeficiente  $C = 0.40 - 0.60$ , para  $N_c$  entre 25 - 50, y un  $C = 0.60 - 0.63$ , para  $N_c$  entre 50 y 80.

#### **1.1.6. APLICABILIDAD Y LIMITACIONES**

Muy adecuado para establecer condiciones de compacidad de estratos arenosos sueltos a densos y condiciones de consistencia de estratos arcillosos de consistencia media firme. Debido a su carácter dinámico no es muy adecuado o confiable para los suelos arcillosos sensitivos de consistencia media a baja.

En suelos arenosos el resultado del P.D.C., está influenciado principalmente por la densidad relativa del suelo y por el nivel de confinamiento efectivo reinante a la profundidad del ensayo, similar a lo expresado para el ensayo de penetración estándar.

Para arenas muy finas y limos arenosos saturados con densidades relativas superiores a la crítica el resultado del P.D.C., puede ser anormalmente alto debido a las presiones de poros

negativas generadas por la dilatación, con el consecuente aumento instantáneo de los esfuerzos efectivos y de la resistencia.

Muy adecuado para complementar exploraciones de suelo, combinándolo con perforaciones, muestreos, sondeos y otros ensayos de campo reduciendo costos y tiempo, y cubriendo grandes áreas con suficiente información.

## **1.2. ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

### **1.2.1. ORIGEN**

Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros T.E. Stanton y O.J. Porter del departamento de carreteras de California. Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método C.B.R. se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como sub-rasante o material de base en la construcción de carreteras. Durante la segunda guerra mundial, el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos.

### **1.2.2. DEFINICIÓN DE C.B.R.**

El C.B.R. (California Bearing Ratio: Relación de Soporte de California) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte.

El (%) C.B.R., está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material triturado.

El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante ensayo.

El C.B.R. se aplica para la evaluación de la calidad relativa de suelos de sub-rasante, algunos materiales de sub-base 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.

La expresión que define al C.B.R., es la siguiente:

$$C.B.R. = (carga\ unitaria\ del\ ensayo / carga\ unitaria\ patrón) * 100 (\%) \quad (1)$$

De la ecuación se puede ver que el número C.B.R., es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de (%) se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Usualmente el número C.B.R., se basa en la relación de carga para una penetración de 2,5 mm. (0,10"), sin embargo, si el valor de C.B.R. a una penetración de 5 mm. (0,20") es mayor, el ensayo debe repetirse. Si en un segundo ensayo se produce nuevamente un valor de C.B.R. mayor de 5 mm de penetración, dicho valor será aceptado como valor del ensayo. Los ensayos de C.B.R. se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación PROCTOR.

### **1.2.3. VALORES DE CARGA UNITARIA**

El número C.B.R. se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kg/cm<sup>2</sup> (Libras por pulgadas cuadradas psi) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 cm<sup>2</sup>) 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 de materia triturado.

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación **(1)** son:

PENETRACION		CARGA UNITARIA PATRON		
mm	Pulgada	Mpa	K/cm <sup>2</sup>	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 C.B.R. usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2,54 mm (0.10”), sin embargo, si el valor del C.B.R. para una penetración de 5.08 mm (0.20”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de C.B.R.

#### 1.2.4. ENERGIAS DE COMPACTACIÓN

Los ensayos de C.B.R. 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 ASTM D1557-70 (para el molde de 15.5 cm de diámetro), se deben compactar muestras utilizando energías de compactación:

METODO		GOLPES	CAPAS	PESO DEL MARTILLO (N)
ASTM D698-70	2 (Suelos de grano fino)	56	3	24.5
	4 (Suelos de grano grueso)	56	3	24.5
ASTM D1557-70	2 (Suelos de grano fino)	56	5	44.5
	4 (Suelos de grano grueso)	56	5	44.5

### 1.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA INFRAESTRUCTURA DE PAVIMENTOS

El ensayo de C.B.R. se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y sub-rasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas. En la siguiente tabla se muestra una clasificación general para el uso de los suelos:

CBR	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			UNIFICADO	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Sub-rasante	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, Sub-base	GM, GC, GW, SM, SP, GP	A1-b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

### 1.2.6. EL MÉTODO C.B.R.

Los ensayos de C.B.R. se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, utilizando el ensayo de compactación estándar o modificado del experimento.

El método C.B.R. comprende los 3 ensayos siguientes:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

El comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su grado de alteración (inalterado y alterado) y a su granulometría y características físicas (granulares, finos, poco plásticos). El método a seguir para determinar el C.B.R. será diferente en cada caso.

### 1.2.6.1. Determinación del C.B.R. de Suelos Remoldados ASTM D 1883

#### Equipo Para la Compactación

- Molde de diámetro= 6", altura de 7" a 8" y un collarín de 2".
- Disco espaciador de acero diámetro 5 15/16" y altura 2.5"
- Pisón Peso 10 lb. y altura de caída 18".
- Trípode y extensómetro con aprox. 0.001".
- Pesas de plomo anular de 5 libras c/u (2 pesas).

#### Para la Prueba de Penetración

- Pistón sección circular diámetro = 2 pulg.
- Aparato para aplicar la carga: Prensa hidráulica.  $V= 0.05$  pulg/min. Con anillo calibrado.
- Equipo misceláneo: balanza, horno, tamices, papel filtro, tanques para inmersión de muestra a saturar, cronómetro, extensómetros.



Fotografía 1. El equipo C.B.R. para realizar, el tamizado, humedecimiento, la mezcla de suelo y la compactación.

### **Preparación del material**

- a) Secar el material al aire o calentándolo a 60 °C.
- b) Desmenuzar los terrones existentes y tener cuidado de no romper las partículas individuales de la muestra.
- c) La muestra deberá tamizarse por la malla  $\frac{3}{4}$  “, y la No. 4. La fracción retenida en el tamiz  $\frac{3}{4}$ ” deberá descartarse y reemplazarse en igual proporción por el material comprendido entre los tamices  $\frac{3}{4}$ ” y No. 4. Luego se mezcla bien.
- d) Se determina el contenido de humedad de la muestra así preparada.

### **Cantidad de material**

Para cada determinación de densidad (un punto de la curva de compactación), se necesitan 5 kg de material. Para la curva con 6 puntos se necesitará 30 kg de material. Cada muestra se utiliza una sola vez.

### **Determinación de la densidad y humedad**

Preparar una muestra que tenga la misma densidad y humedad que se proyecta alcanzar en el sitio donde se construirá el pavimento. Procedimiento:

- a) En el molde cilíndrico se coloca el disco espaciador y papel filtro grueso 6”.
- b) La muestra se humedece añadiendo una cantidad de agua calculada. Se mezcla uniformemente. La humedad entre dos muestras debe variar en 2%.
- c) La muestra se divide en 5 partes. Se compacta en 5 capas con 10, 25 y 56 golpes / capa. La briqueta compactada deberá tener un espesor de 5”.

d) Se quita el collarín, se enrasa la parte superior del molde, se volteará el molde y se quitará la base del molde perforada y el disco espaciador.

e) Se pesará el molde con la muestra, se determinará la densidad y la humedad de la muestra

### **Humedad de mezclado**

Es un factor importante en suelos finos y debe controlarse debidamente. El contenido de humedad de la muestra amasada que se va a compactar, deberá ser igual al correspondiente a la densidad que se desea obtener, se ha comprobado que si esta humedad de mezclado varía en  $\pm 0.50\%$  de la que se desea obtener, los C.B.R. variarán apreciablemente aún cuando se obtenga una densidad aproximadamente igual a la densidad deseada.

### **Determinación de la expansión del material**

a) Determinada la densidad y humedad se coloca el papel filtro sobre la superficie enrasada, un plato metálico perforado y se volteará el molde.

b) Sobre la superficie libre de la muestra se colocará papel filtro y se montará el plato con el vástago graduable. Luego sobre el plato se colocará varias pesas de plomo. La sobrecarga mínima será de 10 libras.

c) Colocado el vástago y las pesas, se colocará el molde dentro de un tanque o depósito lleno con agua.

d) Se monta el trípode con un extensómetro y se toma una lectura inicial y se tomará cada 24 horas.

e) Al cabo de las 96 horas o antes si el material es arenoso se anota la lectura final para calcular el hinchamiento. Se calcula el % de hinchamiento que es la lectura final menos la lectura inicial dividido entre la altura inicial de la muestra multiplicado por 100.

Los adobes, suelos orgánicos y algunos suelos cohesivos tienen expansiones muy grandes generalmente mayor del 10%.

### **Determinación de la resistencia a la penetración**

a) Si no es necesario sumergir la muestra en agua, se colocará sobre ella la pesa anular y se montarán las pesas de plomo, de tal modo que se obtenga una sobrecarga semejante a la del pavimento a construirse. Pasar a c) y d).

b) Si la muestra ha sido sumergida en agua para medir su expansión, y después que haya sido drenada, se colocará la pesa anular y encima de las pesas de plomo que tenía la muestra cuando estaba sumergida en agua; o sea que la sobrecarga para la prueba de penetración deberá ser prácticamente igual a la sobrecarga que tenía durante el ensayo de hinchamiento.

c) El molde con la muestra y la sobrecarga, se coloca debajo de la prensa y se asienta el pistón sobre la muestra, aplicando una carga de 10 libras.

d) Una vez asentado el pistón, se coloca en cero el extensómetro que mide la penetración y el dial del extensómetro también se coloca en cero.

e) Se hincan el pistón en incrementos de 0.025" a la velocidad de 0.05"/ minuto y se leen las cargas totales que ha sido necesario aplicar hasta hincar el pistón 0.50 pulgada.

f) Una vez hincado el pistón hasta 0.50 pulgada, se suelta la carga lentamente; se retira el molde de la prensa y se quitan las pesas y la base metálica perforada.

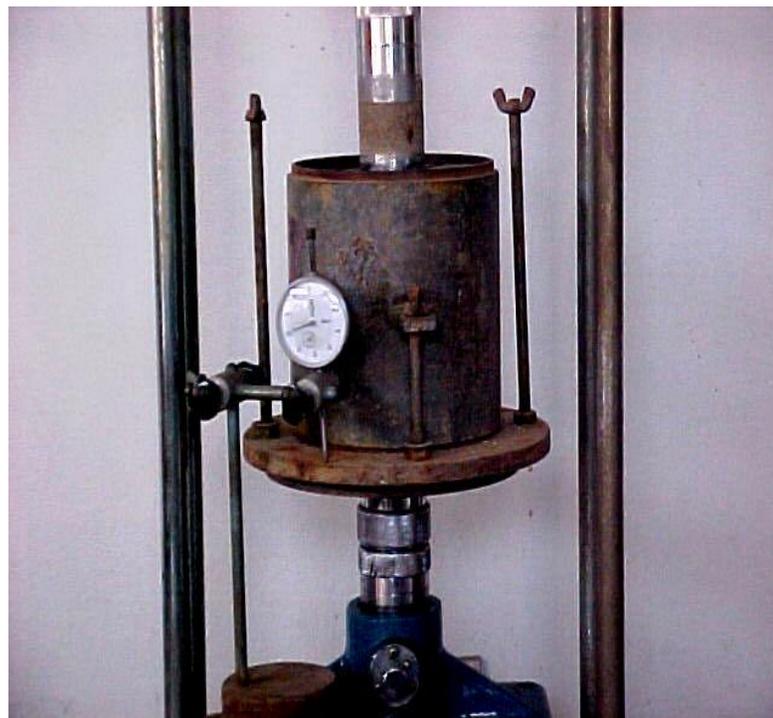
g) Finalmente se determina el contenido de humedad de la muestra. Para el control de campo, bastará determinar el contenido de humedad correspondiente a la parte superior de la muestra pero en el laboratorio se recomienda tomar el promedio de los diferentes contenidos de humedad (parte superior e inferior de la muestra).



Fotografía 2. El equipo manual de C.B.R. La muestra está instalada, el anillo y su dial de deformaciones, el dial para medir las deformaciones y el pistón de 19.4 cm<sup>2</sup> de área transversal.



Fotografía 3. El marco de carga, el anillo y el dial de deformaciones.



Fotografía 4. La muestra instalada, las columnas del marco, el pistón y el dial de deformaciones.



Fotografía 5. La manijuela del equipo para realizar el ensayo.



Fotografía 6. El extractor de la muestra de los moldes. La palanca del gato y el marco del equipo.

### Cálculo del C.B.R.

Las lecturas tomadas, tanto de las penetraciones como de las cargas, se representan gráficamente en un sistema de coordenadas como se indica en la *Figura 1*. Si la curva esfuerzo/penetración que se obtiene es semejante a la del ensayo No. 1 de la Fig. 4, los valores anotados serán los que se tomen en cuenta para el cálculo de C.B.R..

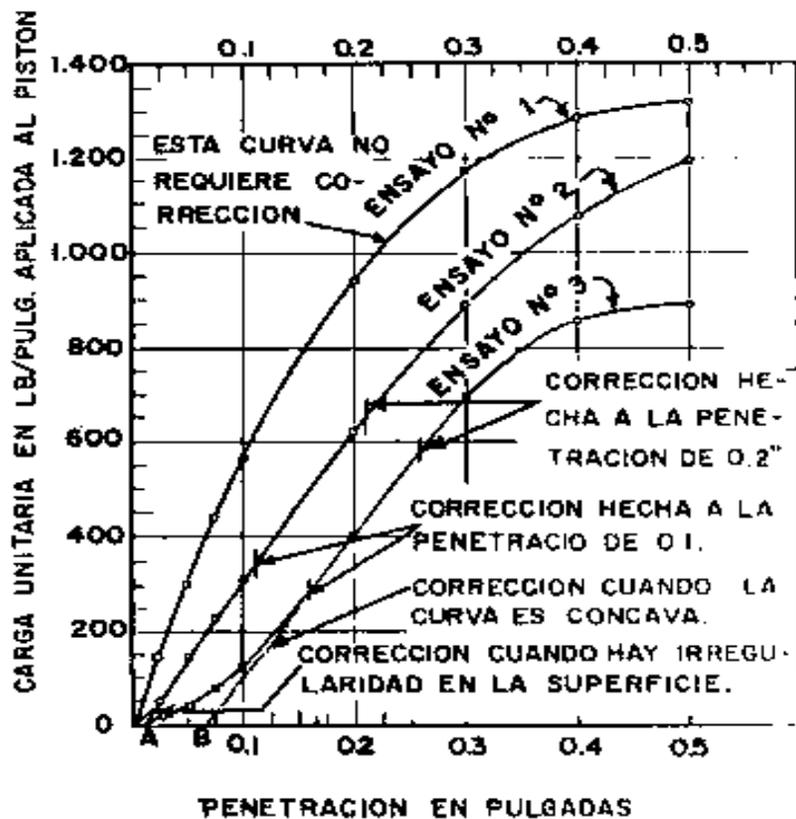


Figura 3. Curvas que relacionan la hinca del pistón con las presiones aplicadas.

En cambio, si las curvas son semejantes a las correspondientes a los No. 2 y 3, las curvas deberán ser corregidas trazando tangentes en la forma indicada en la *Figura 3*. Los puntos A y B, donde dichas tangentes cortan el eje de abscisas, serán los nuevos ceros de las curvas. Las cargas unitarias y penetraciones se determinarán a partir de estos ceros. Si se analiza la curva del ensayo No. 3 tendremos que el esfuerzo correspondiente a la penetración corregida de

0.10" será de 300 lb/pulg<sup>2</sup> en lugar de 120 lb/pulg<sup>2</sup>, que es la correspondiente a la lectura inicial sin corregir de 0.10".

El número C.B.R. es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de % se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Para determinar el C.B.R. se toma como material de comparación la piedra triturada que sería el 100%, es decir C.B.R. = 100%. La resistencia a la penetración que presenta a la hinca del pistón es la siguiente:

$$C.B.R.= (Carga\ unitaria\ patrón / Carga\ unitaria\ del\ ensayo) \times 100\ (\%) \mathbf{(1)}$$

Si los C.B.R. para 0.10" y 0.20" son semejantes, se recomienda usar en los cálculos, el C.B.R. correspondiente a 0.20".

Si el C.B.R. correspondiente a 0.20" es muy superior al C.B.R. correspondiente al de 0.10", deberá repetirse el ensayo.

## **2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE**

### **2.1. ESTUDIOS DE SUELOS PARA VÍAS**

Para la elaboración del presente trabajo se recopiló información de 6 estudios de suelos para vías en la Localidad de Suba, con el fin de obtener características de subsuelo y datos de campo de P.D.C. y C.B.R.

#### **2.1.1. PROYECTO CALLE 142 Y 142C CAFAM-GAVILANES**

##### **2.1.1.1. Descripción**

La vía del proyecto es una vía tipo V-5 que pasa por el costado sur y corresponde a la calle 142 entre carrera 142 y carrera 147A. Esta vía fue extraída del estudio general de pavimento de la urbanización debido a que posee un tráfico elevado. Adicionalmente la calle 142C entre la carrera 146 y la transversal de Suba que corresponden a una vía V-6 de tránsito menor a la 142.

##### **2.1.1.2. Exploración del Subsuelo**

Para la exploración del subsuelo del proyecto se realizaron un total de 3 perforaciones que alcanzaron profundidades comprendidas entre 4.8 m y 5.0 m bajo el nivel superficial actual, estas perforaciones fueron realizadas con equipo motorizado de broca helicoidal y muestreo continuo, cuyos resultados se complementaron con ensayos de resistencia al corte con veleta in-situ. Adicionalmente se excavaron dos apiques para extracción de muestras inalteradas en molde C.B.R.

Los resultados de los ensayos del C.B.R. para este proyecto, se presentan en el *ANEXO 2 – RESULTADOS DE LOS ENSAYOS C.B.R.* Los ensayos se realizaron a humedad natural y después de saturar la muestra durante 96 horas. Las muestras ensayadas se extrajeron del

terreno a profundidades entre 0.80 m y 1.7 m. Como C.B.R. de diseño se optó por un valor de 3%.

### **2.1.1.3. Estratigrafía**

El perfil general del suelo del proyecto es:

- a. Superficialmente aparecen rellenos de arcilla gris con espesores que varían entre 0.30 m y 1.7m.
- b. A continuación, se presente arcilla orgánica café a café oscura con raíces, de consistencia media, que alcanza profundidades entre 0.90 m y 2.2 m bajo la superficie.
- c. A continuación, aparece una capa de arcilla gris oscura con raíces, de consistencia media que alcanza profundidades entre 1.6 m y 2.0 m bajo el mismo nivel.
- d. Sigue, un limo arcilloso negro con raíces de consistencia media a plástica entre 2.8 m y 3.7 m.
- e. Por último y alcanzando el nivel de perforación en todos los sondeos se encuentran limos arcillosos de color gris a café de consistencia media a plástica.

En el momento de realizar las perforaciones se detectó agua libre a profundidades entre 3 m y 5 m bajo el nivel de la superficie.

### **2.1.1.4. Datos P.D.C. de campo**

Del estudio de suelos se recopilaron los siguientes datos de P.D.C. de campo (*Ver ANEXO 1 – DATOS DE P.D.C. DE CAMPO*):

PROYECTO: CALLE 142 Y 142C CAFAM-GAVILANES		
PDC: 1		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	2
10	20	3
20	30	3
30	40	4
40	50	4
50	60	5
60	70	4
70	80	4
80	90	4
90	100	4
100	110	4
110	120	5
120	130	5
130	140	7
140	150	8
150	160	11
160	170	10
170	180	8
180	190	10
190	200	14
200	210	16
210	220	16
220	230	20
230	240	30
240	250	5
250	260	5
260	270	5
270	280	6
280	290	6
290	300	6

Tabla 1. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto Calle 142 y 142C CAFAM-GAVILANES.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #1

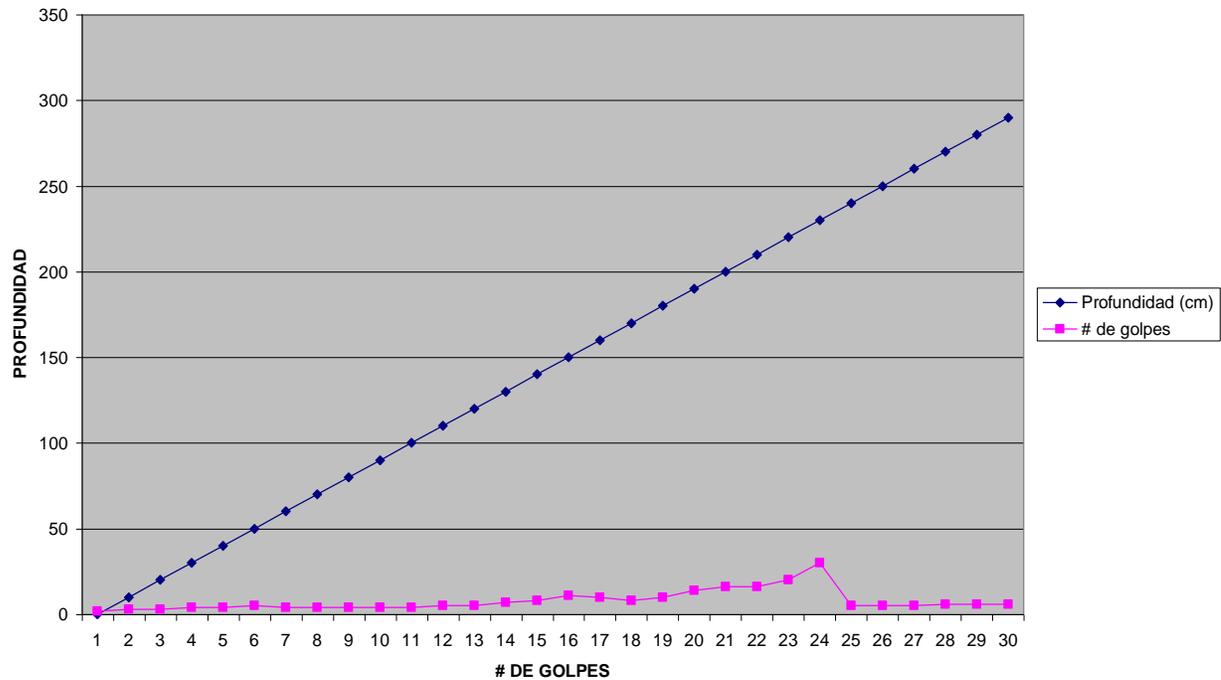


Figura 4. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. # 1 - Proyecto Calle 142 y 142C CAFAM-GAVILANES.

PROYECTO: CALLE 142 Y 142C CAFAM-GAVILANES		
PDC: 2		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	3
10	20	4
20	30	3
30	40	4
40	50	6
50	60	5
60	70	4
70	80	7
80	90	7
90	100	6
100	110	5
110	120	6
120	130	4
130	140	4
140	150	5
150	160	6
160	170	4
170	180	3
180	190	4
190	200	4
200	210	5
210	220	5
220	230	5
230	240	5

Tabla 2. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto Calle 142 y 142C CAFAM-GAVILANES.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #2

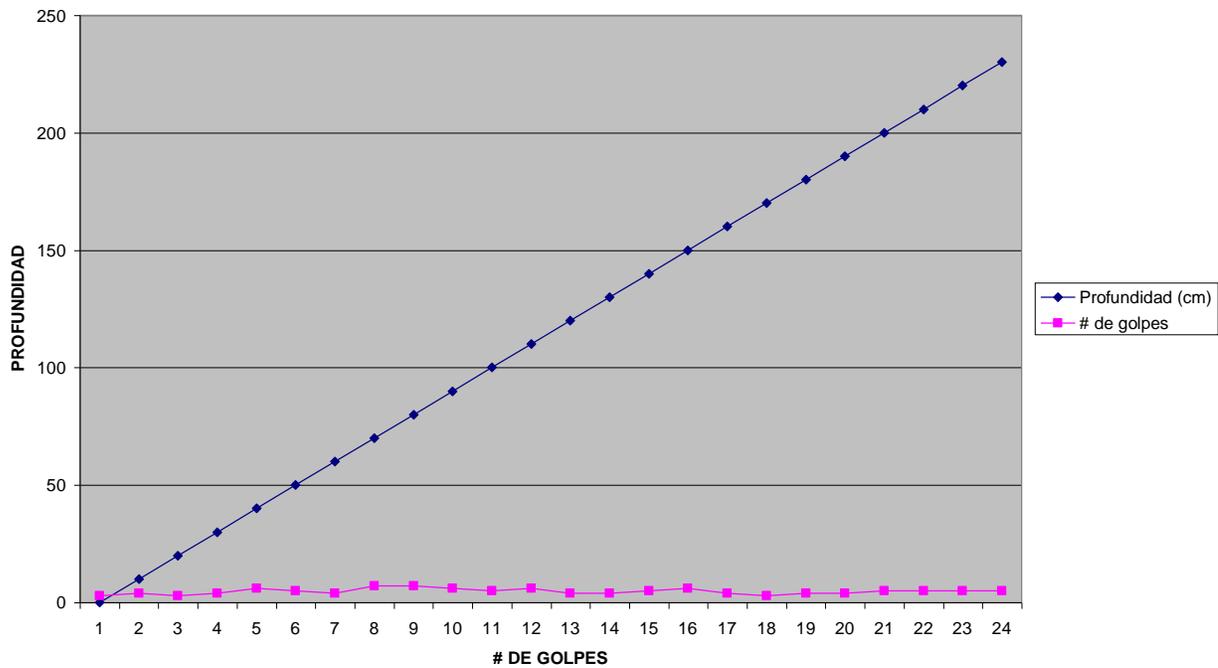


Figura 5. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. # 2 - Proyecto Calle 142 y 142C CAFAM-GAVILANES.

La figura 4 representa el aumento progresivo de golpes necesarios para que el cono penetre el suelo a medida que aumenta la profundidad, es decir, que para el sondeo de P.D.C. #1, el suelo es mas duro a medida que aumenta la profundidad de exploración.

Por otra parte, el pico máximo en la figura 4 nos indica que el cono ha llegado a un estrato de suelo bastante duro y requiere de un número de golpes considerable para continuar, luego se observa que, al haber traspasado dicho estrato el número de golpes para continuar disminuye drásticamente de 30 a 5 golpes. Es evidente que en el sondeo de P.D.C. #1 el suelo blando esta en la superficie y al aumentar la profundidad se encontraron estratos de suelo mas duros, pero al pasar de cierta profundidad se encuentran nuevamente estratos mas blandos.

La figura 5 muestra un comportamiento diferente ya que el número de golpes necesarios para traspasar los estratos de suelo, no difiere en gran medida mientras va aumentando la profundidad de exploración, podríamos decir entonces que los estratos de suelo encontrados en el sondeo para P.D.C. #2 tienen características similares.

De la figura 4 y 5 podemos concluir que los estratos de suelo encontrados en los dos sondeos son diferentes, por lo cual es necesario extraer datos representativos de los ensayos de campo realizados para lograr el objetivo principal de este trabajo.

Al igual que en los demás estudios de suelos para vías utilizados en la realización de este trabajo, encontraremos que los estratos de suelo son diferentes dependiendo de la ubicación específica del sondeo de exploración, por lo tanto, presentarán variación en su comportamiento “# de golpes vs. Profundidad”, y que debido a esto es necesario clasificar los datos representativos para la correlación del P.D.C. y C.B.R..

## 2.1.2. PROYECTO VIAS ALMUVA

### 2.1.2.1. Descripción

Las vías de este proyecto corresponden a media calzada de los siguientes tramos:

VÍA	TRAMO	TIPO DE VÍA
Carrera 59	Transversal de Suba a Calle 155	V-8
Calle 155	Carrera 59 a Carrera 60	V-7
Carrera 60	Calle 155 a Transversal de Suba	V-6

### 2.1.2.2. Exploración del Subsuelo

Para la exploración del subsuelo se realizaron un total de 4 perforaciones que alcanzaron profundidades comprendidas entre 4.2 m y 4.4 m bajo el nivel superficial actual, estas perforaciones fueron realizadas con equipo motorizado de broca helicoidal y muestreo continuo cuyos resultados se complementaron con ensayos de resistencia al corte con veleta in-situ. Adicionalmente se excavaron 2 apiques para extracción de muestras inalteradas en molde C.B.R.

Los resultados de los ensayos del C.B.R. para este proyecto, se presentan en el *ANEXO 2 – RESULTADOS DE LOS ENSAYOS C.B.R.* Los ensayos se realizaron a humedad natural y después de saturar la muestra durante 96 horas. Las muestras ensayadas se extrajeron del terreno a profundidades entre 0.50 m y 0.90 m. Como C.B.R. de diseño se optó por un valor de 6%.

### 2.1.2.3. Estratigrafía

El perfil general del suelo del proyecto es:

- a. Superficialmente aparecen rellenos en arcilla gris con escombros y la capa vegetal con espesores en conjunto que varían entre 0.30 m y 0.60 m.
- b. Sigue una arcilla orgánica café a café oscura con raíces, de consistencia media, que alcanza profundidades entre 0.80 m y 1.1 m bajo la superficie.
- c. A continuación aparece una doble capa de arcilla gris vetada a gris verdosa de consistencia media que alcanza profundidades entre 2.6 m y 3.0 m bajo el mismo nivel.
- d. Por último y alcanzando el nivel de perforación en todos los sondeos se encuentran limos arcillosos de color gris a café de consistencia media.

En el momento de realizar las perforaciones no se detectó agua libre hasta la profundidad de exploración.

#### 2.1.2.4. Datos P.D.C. de campo

Del estudio de suelos se recopilaron los siguientes datos de P.D.C. de campo (Ver ANEXO 1 – DATOS DE P.D.C. DE CAMPO):

PROYECTO: VIAS ALMUVA		
PDC: 1		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	5
10	20	7
20	30	4
30	40	4
40	50	4
50	60	3
60	70	3
70	80	3
80	90	2
90	100	1
100	110	1
110	120	2
120	130	2
130	140	3
140	150	2
150	160	4
160	170	5
170	180	6
180	190	6
190	200	6
200	210	6
210	220	5
220	230	5
230	240	7
240	250	7
250	260	7
260	270	7
270	280	7
280	290	8
290	300	8

Tabla 3. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto Vías ALMUVA

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #1

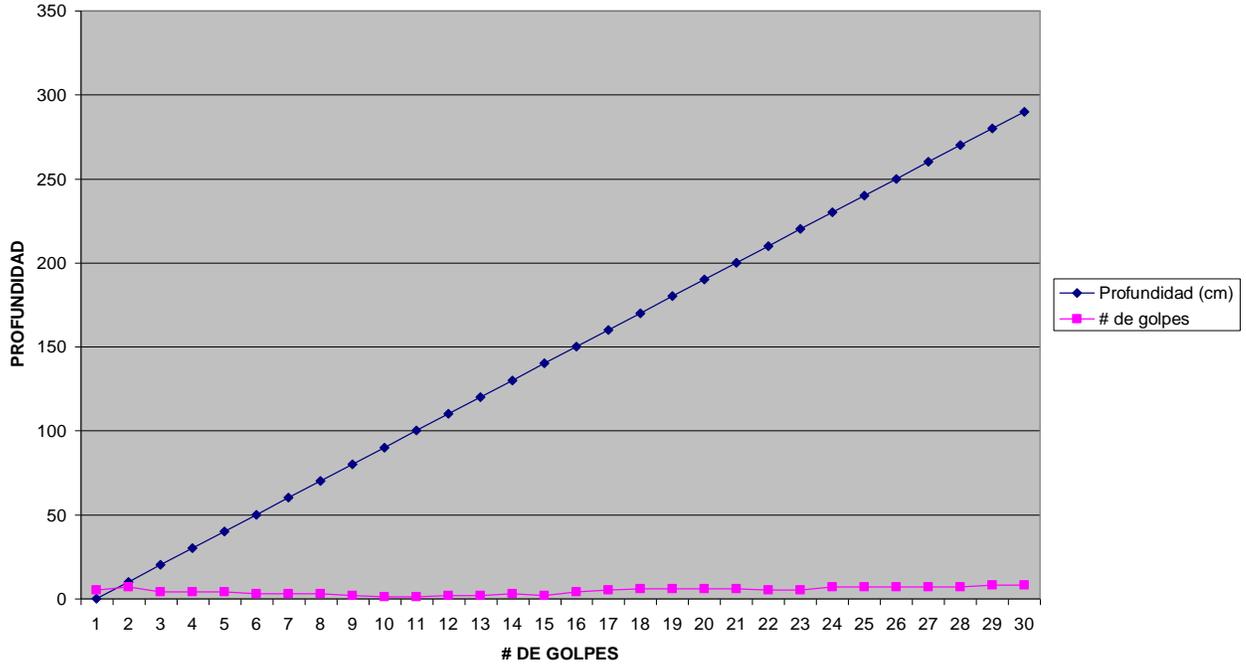


Figura 6. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto Vías ALMUVA.

PROYECTO: VIAS ALMUVA		
PDC:		2
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	4
10	20	4
20	30	6
30	40	4
40	50	2
50	60	3
60	70	3
70	80	2
80	90	1
90	100	1
100	110	1
110	120	2
120	130	2
130	140	3
140	150	4
150	160	4
160	170	4
170	180	6
180	190	6
190	200	6

Tabla 4. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto Vías ALMUVA

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #2

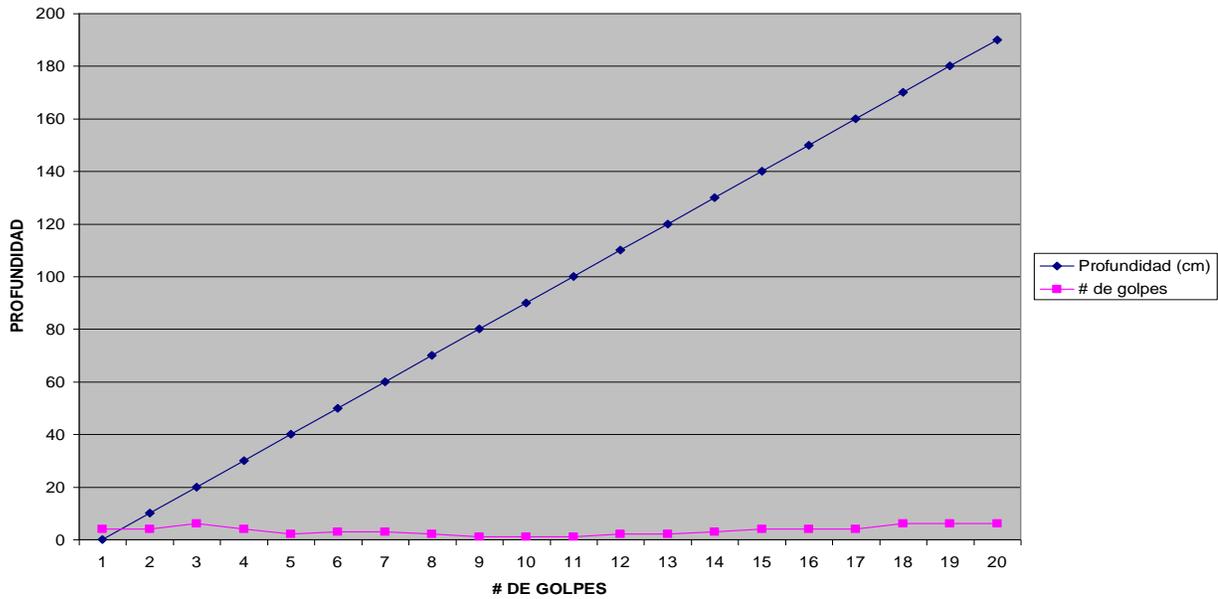


Figura 7. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto Vías ALMUVA.

PROYECTO: VIAS ALMUVA		
PDC:		3
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	30	0
30	40	5
40	50	3
50	60	4
60	70	5
70	80	6
80	90	6
90	100	6
100	110	6
110	120	7
120	130	8
130	140	8
140	150	10
150	160	10
160	170	8
170	180	6
180	190	9
190	200	9
200	210	22
210	220	13
220	230	14
230	240	13
240	250	13
250	260	13
260	270	12
270	280	11
280	290	11
290	300	11

Tabla 5. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto Vías ALMUVA

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #3

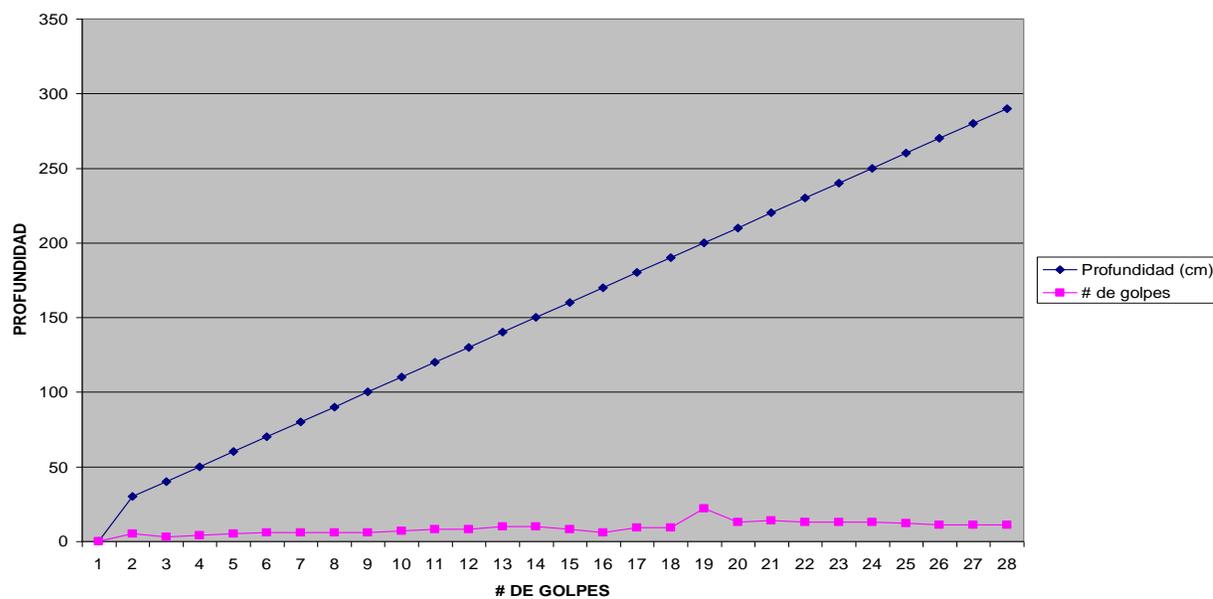
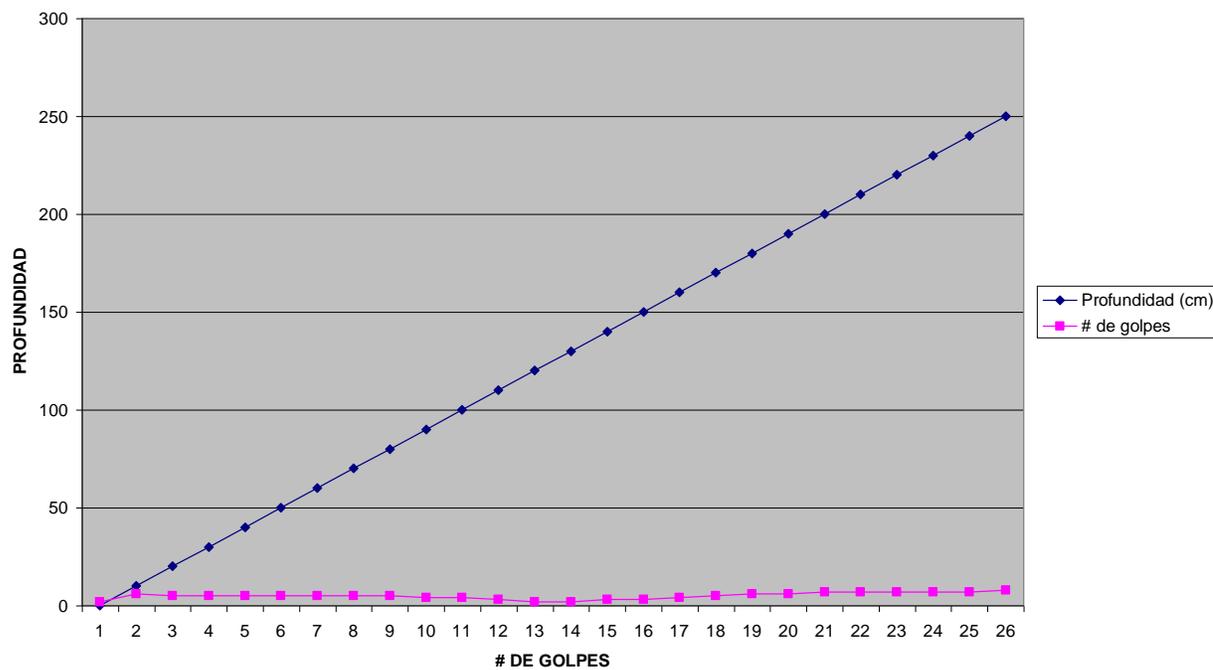


Figura 8. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto Vías ALMUVA.

PROYECTO: VIAS ALMUVA		
PDC: 4		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	2
10	20	6
20	30	5
30	40	5
40	50	5
50	60	5
60	70	5
70	80	5
80	90	5
90	100	4
100	110	4
110	120	3
120	130	2
130	140	2
140	150	3
150	160	3
160	170	4
170	180	5
180	190	6
190	200	6
200	210	7
210	220	7
220	230	7
230	240	7
240	250	7
250	260	8

Tabla 6. Datos P.D.C. 4 de campo – Proyecto Vías ALMUVA

#### P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #4



**Figura 9. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #4 - Proyecto Vías ALMUVA.**

Las figuras anteriores del P.D.C. de campo representan el número de golpes necesarios para traspasar los estratos de suelo a una profundidad determinada para cada uno de los sondeos de exploración. El incremento o disminución del número de golpes a cierta profundidad nos ayuda a identificar si el estrato es blando o duro.

### 2.1.3. PROYECTO VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA

#### 2.1.3.1. Descripción

Las vías de la urbanización la Tranquera se encuentran localizadas entre las calles 147A y 149 entre la Avenida Suba y la Carrera 102. Para este proyecto, se contempló la construcción de vías tipo V-6 sobre la calle 147A, entre la Avenida Suba y la Carrera 102, vía tipo V-6 a lo largo

de la carrera 102 entre calles 147A y 149, vía tipo V-6 entre la carrera 102 y la Avenida La Conejera a lo largo de la calle 149, media calzada de vía tipo V-4 a lo largo de la calle 149 entre la Avenida La Conejera y la Avenida Suba.

### **2.1.3.2. Exploración del Subsuelo**

Para la exploración del subsuelo se realizaron un total de 6 sondeos que alcanzaron profundidades comprendidas entre 4.2 m y 4.6 m bajo la superficie y 4 apiques para extracción de muestras inalteradas en molde C.B.R. Los sondeos fueron complementados con ensayos de resistencia al corte con veleta in-situ.

### **2.1.3.3. Estratigrafía**

De forma general el perfil estratigráfico se puede describir así:

- a. Superficialmente aparecen rellenos en tierras con espesores que varían entre 0.10 m y 0.90 m. Bajo el relleno se encuentra la capa vegetal que alcanza profundidades entre 0.50 m y 0.80 m bajo la superficie actual. Únicamente en el sondeo No. 6, el espesor del relleno es superior al espesor de la capa vegetal encontrado.
- b. Sigue una arcilla de color café con raíces a café oscura orgánica de consistencia media, que alcanza profundidades entre 1.5 m y 1.9 m bajo la superficie actual. A profundidades entre 0.60 m y 0.90 m se extrajeron en este estrato muestras inalteradas en molde C.B.R.
- c. Se encuentra luego una doble capa de arcilla gris vetada a gris verdosa de consistencia media a plástica que llega a profundidades entre 2.7 m y 3.4 m bajo la superficie actual.
- d. Por último y alcanzando el nivel de exploración en todos los sondeos se encuentran arcillas de color gris a café de consistencia plástica.

En el momento de realizar las perforaciones se detectó agua libre a profundidades entre 2 m y 3 m bajo el nivel superficial actual.

#### **2.1.3.4. Zonificación Geotécnica**

Con base en los planos de zonificación geotécnica de Bogotá incluido dentro del Plan de Ordenamiento Territorial y el estudio de Microzonificación Sísmica de la ciudad, el lote en estudio se encuentra localizado en zona de arcillas blandas. Esta caracterización se verificó con los resultados de los sondeos descritos de laboratorio.

La variabilidad del perfil estratigráfico es baja, ya que no existen diferencias importantes en el perfil encontrado en las perforaciones, lo cual indica que están originadas en formaciones geológicas simples y en general los terrenos se presentan prácticamente planos con pendientes inferiores al 10%.

#### **2.1.3.5. Ensayos In-Situ y de laboratorio**

Como se mencionó anteriormente, para este proyecto se realizaron 4 apiques en los que se extrajeron 4 muestras inalteradas de C.B.R. sobre las que se realizaron ensayos de resistencia a la penetración tanto con su humedad natural como luego de haber sumergido las muestras durante 96 horas. Los resultados de los ensayos del C.B.R. para este proyecto, se presentan en el *ANEXO 2 – RESULTADOS DE LOS ENSAYOS C.B.R.*

Adicionalmente de forma paralela a cada una de las perforaciones con broca helicoidal se realizaron ensayos de penetrómetro dinámico de cono hasta 3 m de profundidad, en cada caso determinando el número de golpes requerido para perforar el terreno cada 10 cm. Lo anterior, en cumplimiento con la norma I.N.V.

Como complemento a esta información se cuenta con la exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio realizados sobre muestras inalteradas en tubo de pared delgada tipo Shelby realizados para el estudio de tuberías.

### 2.1.3.6. Datos P.D.C. de campo

Del estudio de suelos se recopilaron los siguientes datos de P.D.C. de campo (Ver ANEXO 1 – DATOS DE P.D.C. DE CAMPO):

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA		
PDC:		1
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	2
10	22	2
22	34	2
34	40	1
40	53	2
53	70	1
70	80	1
80	90	2
90	101	2
101	120	2
120	130	1
130	144	1
144	157	1
157	176	2
176	185	1
185	192	1
192	200	2
200	210	3
210	220	3
220	230	3
230	240	3
240	252	3
252	261	3
261	271	4
271	280	3
280	290	5
290	300	5

Tabla 7. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #1

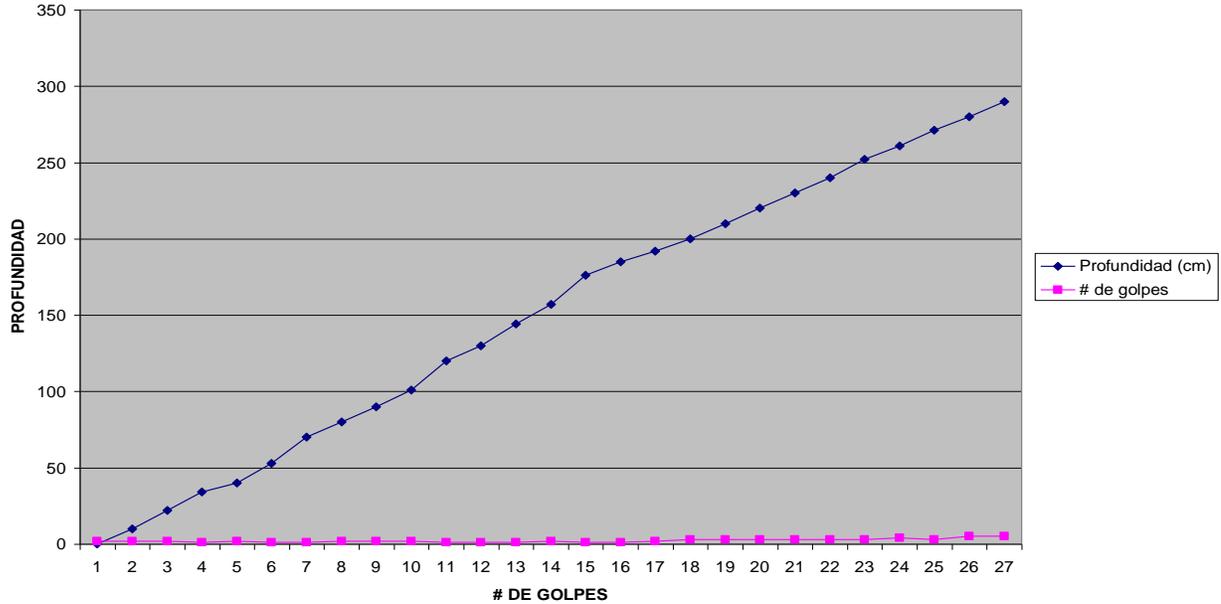


Figura 10. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA		
PDC: 2		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	2
10	20	2
20	30	2
30	43	2
43	50	1
50	60	1
60	70	1
70	80	1
80	92	1
92	100	1
100	111	2
111	120	1
120	131	2
131	142	2
142	152	1
152	160	1
160	161	2
161	180	2
180	190	2
190	202	2
202	212	3
212	220	2
220	230	4
230	240	5
240	250	5
250	260	5
260	272	5
272	280	4
280	290	4
290	300	4

Tabla 8. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #2

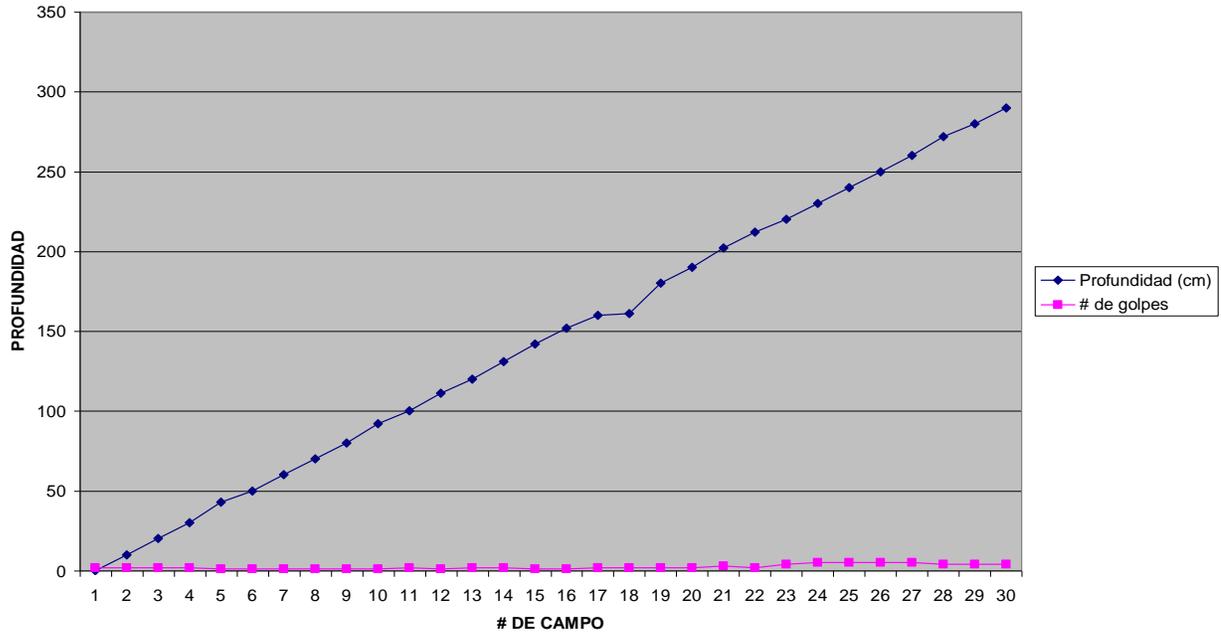


Figura 11. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA		
PDC:		3
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	2
10	20	2
20	33	2
33	40	2
40	54	1
54	62	1
62	81	1
81	96	1
96	110	1
110	120	1
120	130	2
130	140	1
140	155	2
155	160	2
160	170	1
170	180	1
180	200	2
200	210	2
210	221	2
221	230	2
230	240	3
240	251	2
251	261	4
261	270	5
270	280	5
280	291	5
291	300	5

Tabla 9. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #3

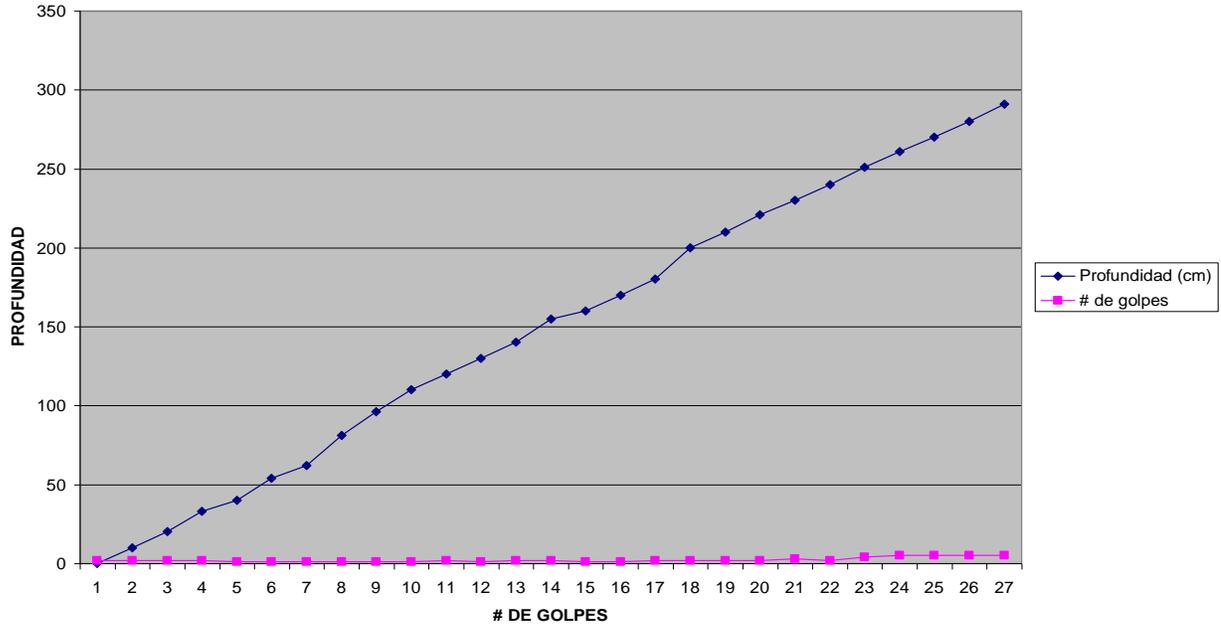


Figura 12. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA		
PDC: 4		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	12	2
12	22	2
22	30	2
30	42	4
42	50	2
50	62	2
62	73	2
73	84	1
84	92	1
92	105	2
105	113	1
113	122	1
122	130	1
130	140	2
140	150	2
150	163	3
163	174	2
174	180	1
180	192	3
192	201	3
201	212	2
212	220	2
220	230	3
230	241	3
241	250	3
250	262	3
262	270	3
270	280	3
280	292	3
292	300	3

Tabla 10. Datos P.D.C. 4 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #4

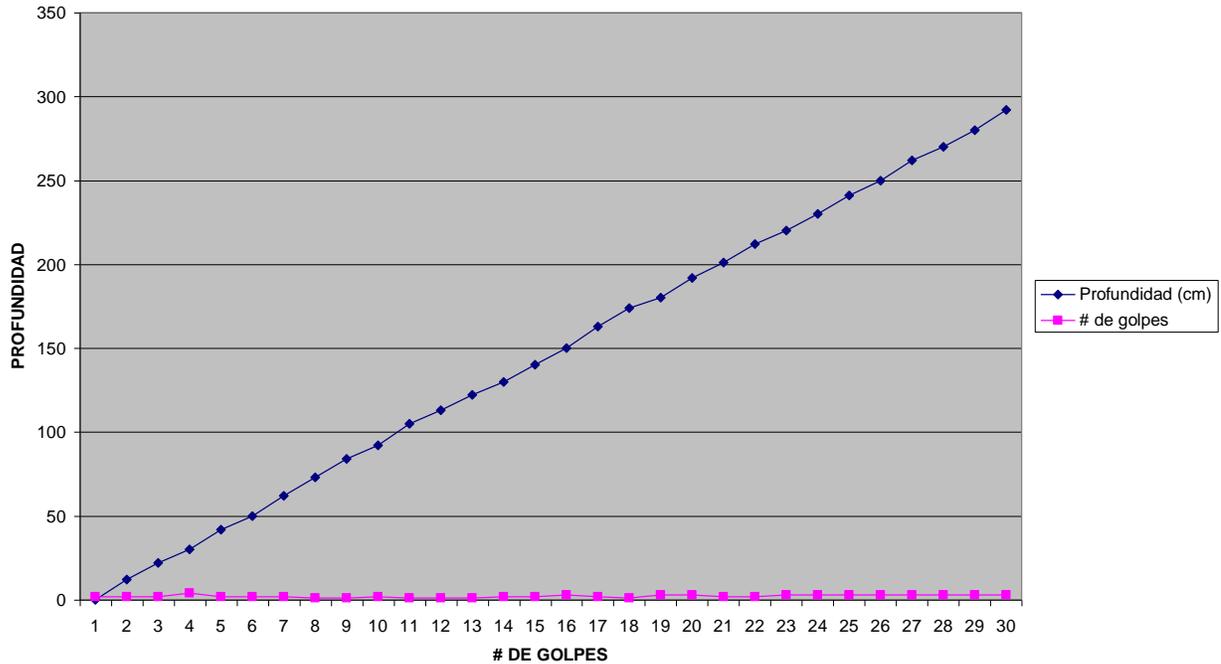


Figura 13. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #4 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA		
PDC:		5
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	15	2
15	20	1
20	30	10
30	40	5
40	50	4
50	65	2
65	70	1
70	82	2
82	90	1
90	100	1
100	110	1
110	120	1
120	130	1
130	140	1
140	150	2
150	162	1
162	173	1
173	180	2
180	190	3
190	201	3
201	210	4
210	220	5
220	230	5
230	241	6
241	251	5
251	260	6
260	270	6
270	280	6
280	290	6
290	300	6

Tabla 11. Datos P.D.C. 5 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #5

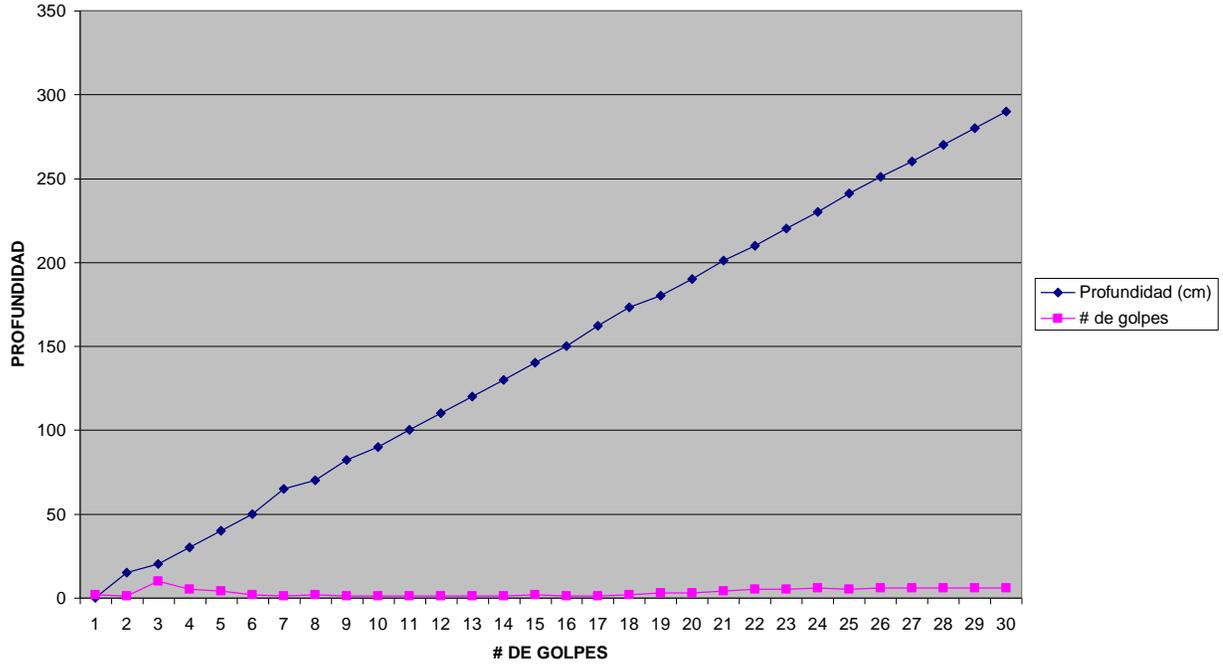


Figura 14. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #5 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA		
PDC:		6
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	2
10	20	5
20	30	2
30	42	2
42	50	3
50	60	4
60	70	6
70	80	5
80	90	3
90	102	3
102	110	3
110	120	2
120	132	2
132	141	1
141	150	1
150	167	2
167	176	1
176	190	1
190	205	1
205	215	1
215	227	1
227	234	1
234	242	1
242	250	2
250	260	3
260	271	3
271	280	3
280	290	3
290	300	4

Tabla 12. Datos P.D.C. 6 de campo – Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #6

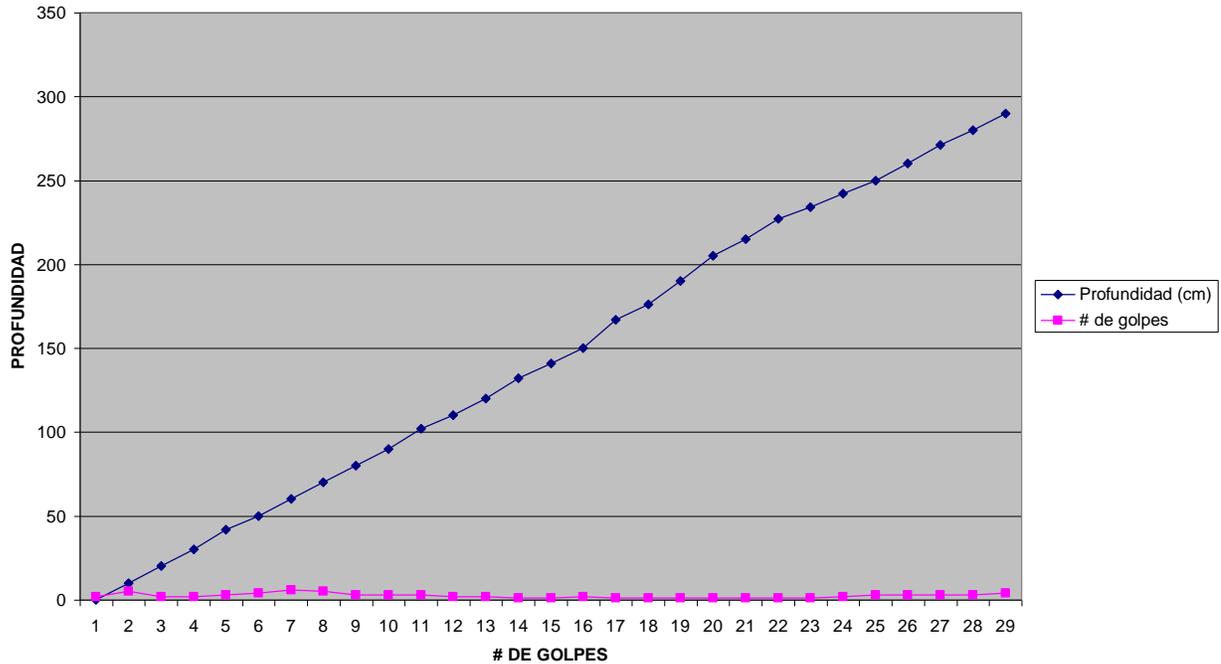


Figura 15. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #6 - Proyecto Vías URBANIZACIÓN LA TRANQUERA.

Las figuras anteriores del P.D.C. de campo representan el número de golpes necesarios para traspasar los estratos de suelo a una profundidad determinada para cada uno de los sondeos de exploración. El incremento o disminución del número de golpes a cierta profundidad nos ayuda a identificar si el estrato es blando o duro.

## 2.1.4. PROYECTO FARMATODO 167

### 2.1.4.1. Descripción

La vía del proyecto es tipo V-6 con 7.5 m de ancho de calzada y 110 m de longitud. La vía se encuentra ubicada en la calle 167 entre la Avenida Boyacá y la carrera 64, en esta ciudad.

#### **2.1.4.2. Exploración del subsuelo**

Para la exploración del subsuelo se realizaron un total de 3 perforaciones que alcanzaron profundidades comprendidas entre 5.2 m y 5.6 m bajo el nivel superficial actual. Estas perforaciones fueron realizadas con equipo motorizado de broca helicoidal y muestreo continuo cuyos resultados se complementaron con ensayos de resistencia al corte con veleta in-situ.

Adicionalmente se excavaron 2 apiques para extracción de muestras inalteradas en molde C.B.R. El ensayo se realizó a humedad natural y después de saturar la muestra durante 96 horas. Las muestras ensayadas se extrajeron entre 1.1 m y 1.5 m. Las muestras se tomaron en la arcilla café, en la zona del proyecto, y en los rellenos existentes.

#### **2.1.4.3. Estratigrafía**

De forma general el perfil estratigráfico se puede describir así:

- a. Superficialmente aparecen rellenos con piedras y escombros, rellenos en tierras variadas con basura y rellenos arcillosos en algunos sectores con raíces y vetas de óxido, con espesores que varían entre 0.50 m y 2.2 m. Según lo observado, al hacer los ensayos in-situ, los rellenos fueron únicamente colocados en el sitio sin ningún tipo de compactación. Bajo los rellenos en los sondeos y el C.B.R., se encontró la capa vegetal hasta 1 m de profundidad.
- b. Bajo los rellenos y la capa vegetal en los sondeos y ensayos C.B.R., se encuentran arcillas de color café a café orgánico, de consistencia plástica que alcanzaron profundidades de 2 m.
- c. Se encuentran luego, arcillas de color gris a gris verdoso, de consistencia plástica, que llegan a profundidades comprendidas entre 2.5 m y 3.4 m.
- d. Por último y alcanzando el nivel de perforación en los sondeos realizados, se encuentran limos arcillosos de color gris oscuro a café, de consistencia plástica a blanda.

En el momento de realizar las perforaciones se detectó agua libre a profundidades comprendidas entre 1.4 m y 4 m bajo la superficie.

Adicionalmente se extrajeron para este proyecto, un buen número de muestras remoldeadas, para su clasificación visual, así como 2 muestras inalteradas en el molde C.B.R., sobre las cuales se realizaron ensayos de resistencia a la penetración tanto con su humedad natural como luego de saturadas durante 96 horas.

#### 2.1.4.4. Datos P.D.C. de campo

Del estudio de suelos se recopilieron los siguientes datos de P.D.C. de campo (Ver ANEXO 1 – DATOS DE P.D.C. DE CAMPO):

PROYECTO: FARMATODO 167		
PDC: 1		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	8
10	20	17
20	30	7
30	40	7
40	50	7
50	60	6
60	70	6
70	80	5
80	90	4
90	100	3
100	110	2
110	120	2
120	130	3
130	140	7
140	150	3
150	162	3
162	170	1
170	180	2
180	190	5
190	200	5
200	210	5
210	220	7
220	230	7
230	240	8
240	250	9
250	260	10
260	270	12
270	280	10
280	290	9
290	300	10

Tabla 13. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto FARMATODO 167.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #1

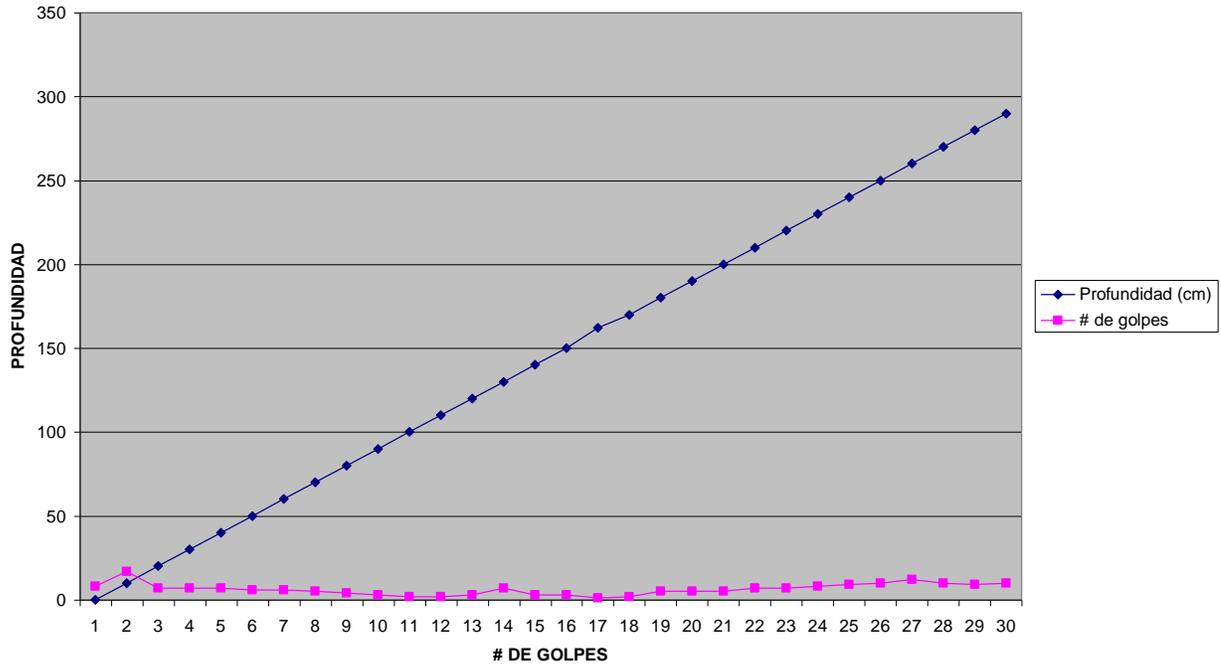


Figura 16. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto FARMATODO 167.

PROYECTO: FARMATODO 167		
PDC: 2		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	20	2
20	35	1
35	40	1
40	50	4
50	60	5
60	70	5
70	80	4
80	91	4
91	102	3
102	112	2
112	120	1
120	130	2
130	140	1
140	150	1
150	160	1
160	170	2
170	180	2
180	190	3
190	200	4
200	210	5
210	220	6
220	230	6
230	240	7
240	250	7
250	260	8
260	270	8
270	280	8
280	290	8
290	300	80

Tabla 14. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto FARMATODO 167.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #2

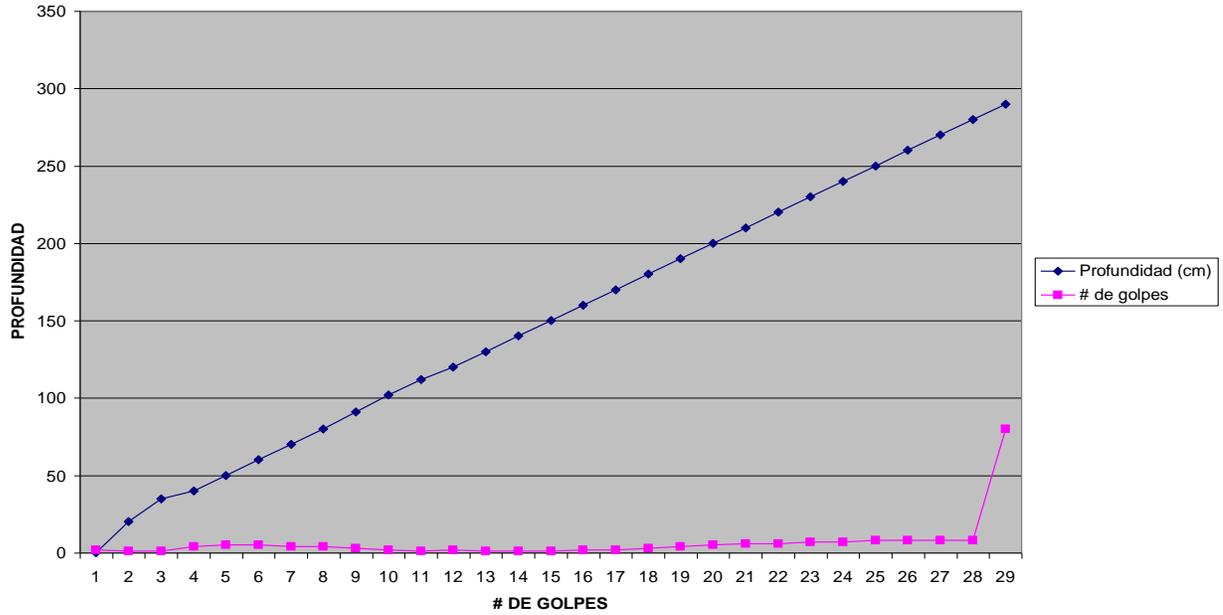
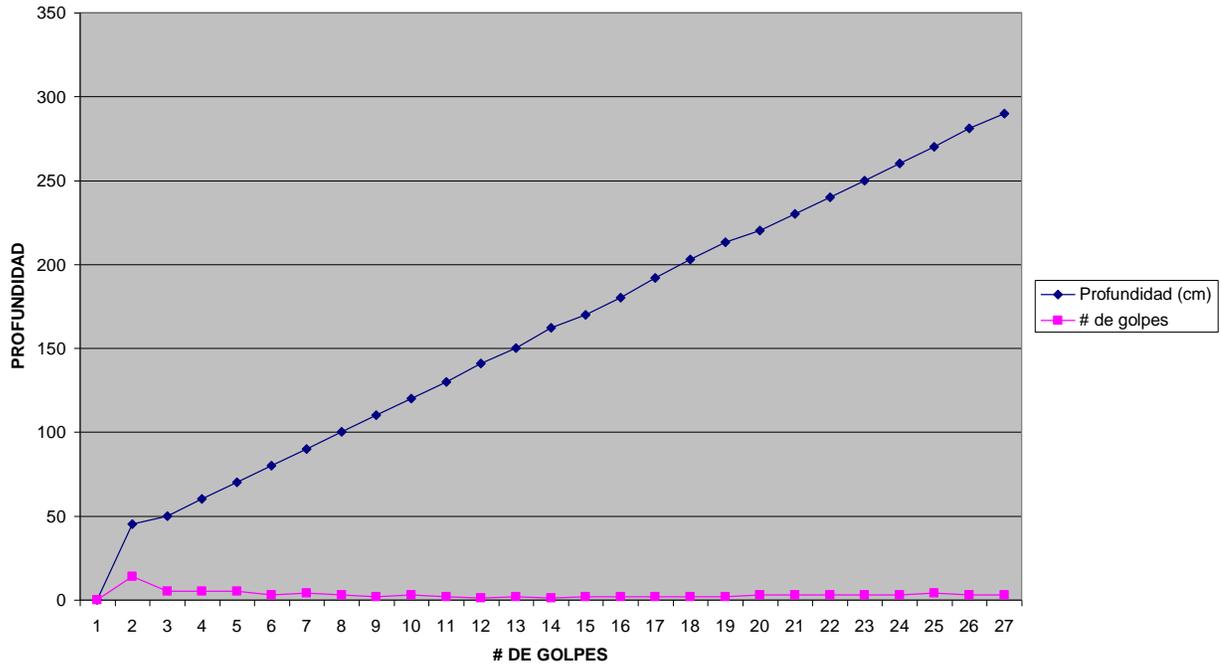


Figura 17. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto FARMATODO 167.

PROYECTO: FARMATODO 167		
PDC: 3		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	45	0
45	50	14
50	60	5
60	70	5
70	80	5
80	90	3
90	100	4
100	110	3
110	120	2
120	130	3
130	141	2
141	150	1
150	162	2
162	170	1
170	180	2
180	192	2
192	203	2
203	213	2
213	220	2
220	230	3
230	240	3
240	250	3
250	260	3
260	270	3
270	281	4
281	290	3
290	300	3

Tabla 15. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto FARMATODO 167.

### P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #3



**Figura 18. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto FARMATODO 167.**

Las figuras anteriores del P.D.C. de campo representan el número de golpes necesarios para traspasar los estratos de suelo a una profundidad determinada para cada uno de los sondeos de exploración. El incremento o disminución del número de golpes a cierta profundidad nos ayuda a identificar si el estrato es blando o duro.

## 2.1.5. PROYECTO VÍAS URBANIZACIÓN LA SIRENA

### 2.1.5.1. Descripción

Las vías del proyecto corresponden a las carreras 54A y 56, 63A y 65 entre las calles 153 (Avenida La Sirena) y calle 16 y a media calzada de las calles 153 (Avenida La Sirena) y la calle 160 entre las carreras 54A y 65. Las vías varían en su tipo de la siguiente manera:

VÍA	OBSERVACIONES	TIPO DE VÍA
Carrera 65		V-6
Carrera 63A		V-5
Calle 153	Media Calzada	V-6
Calle 160	Media Calzada	V-6
Carrera 56		V-5
Carrera 54A		V-7

### 2.1.5.2. Exploración del subsuelo

Para la exploración del subsuelo en este proyecto se realizaron un total de 5 perforaciones que alcanzaron una profundidad de 3 m bajo el nivel superficial actual. Estas perforaciones fueron realizadas con penetrómetro dinámico de cono. Adicionalmente, se excavaron cinco apiques para extracción de muestras inalteradas en molde C.B.R. El ensayo se realizó a humedad natural y después de saturar la muestra durante 96 horas.

Las muestras ensayadas se extrajeron entre 0.80 m y 1 m y entre 1.5 m y 1.7 m. Como C.B.R. de diseño se tiene un valor para la zona al occidente de la Avenida Boyacá de 5.75% y para la zona oriental de 1.5%.

### 2.1.5.3. Estratigrafía

De forma general el perfil estratigráfico se puede describir así:

- a. Superficialmente aparecen rellenos de arcilla gris con espesores que varían entre 0.50 m y 0.90 m.
- b. Sigue la capa vegetal hasta profundidades entre 0.80 m y 1 m bajo la superficie.
- c. A continuación aparece una arcilla café con raíces de consistencia media a plástica que alcanzó la profundidad de los apiques y la cual corresponde al suelo de sub-rasante.

En el momento de realizar las perforaciones no se detectó agua libre hasta la profundidad de exploración.

#### 2.1.5.4. Datos P.D.C. de campo

Del estudio de suelos se recopilaron los siguientes datos de P.D.C. de campo (Ver ANEXO 1 – DATOS DE P.D.C. DE CAMPO):

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA		
PDC:		1
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	5
10	20	9
20	30	10
30	40	8
40	50	4
50	60	3
60	70	2
70	80	3
80	90	3
90	100	3
100	110	4
110	120	3
120	130	3
130	140	5
140	160	6
160	170	7
170	180	7
180	190	6
190	200	6
200	210	6
210	220	4
220	230	4
230	240	4
240	250	3
250	260	4
260	270	3
270	280	4
280	290	2
290	300	3

Tabla 16. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #1

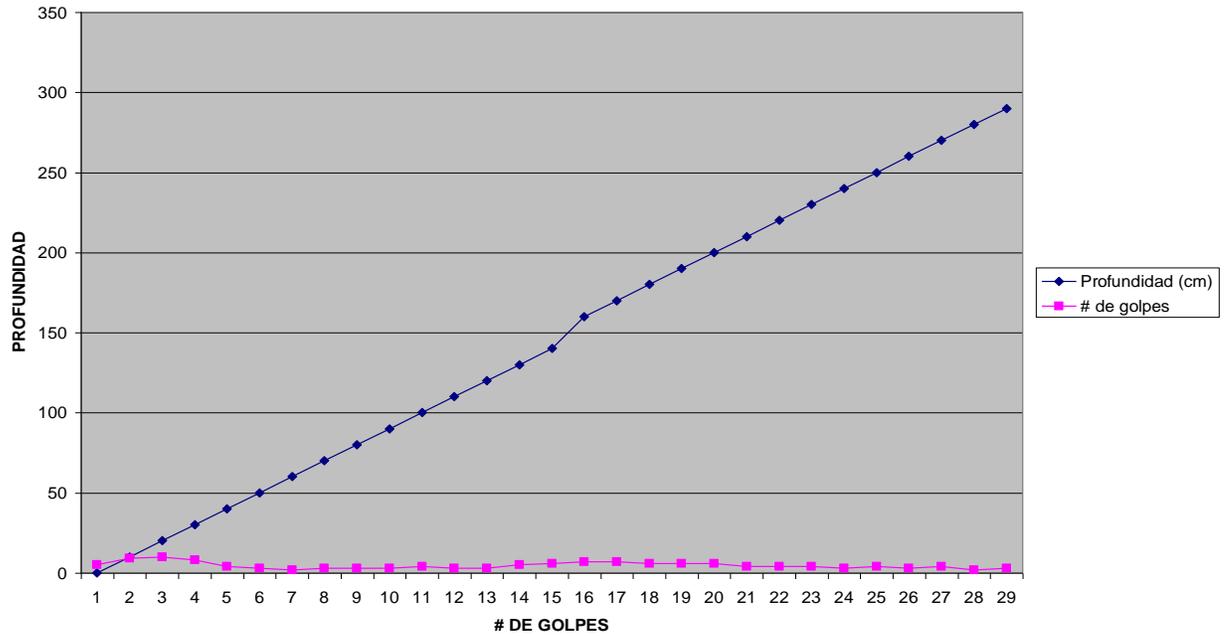


Figura 19. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA		
PDC: 2		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	9
10	20	22
20	30	11
30	40	9
40	50	4
50	60	5
60	70	5
70	80	4
80	90	5
90	100	5
100	110	3
110	120	5
120	130	2
130	140	3
140	150	2
150	160	2
160	170	3
170	180	3
180	190	4
190	200	3
200	210	3
210	220	4
220	230	5
230	240	5
240	250	3
250	260	3
260	270	5
270	280	4
280	290	6
290	300	3

Tabla 17. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #2

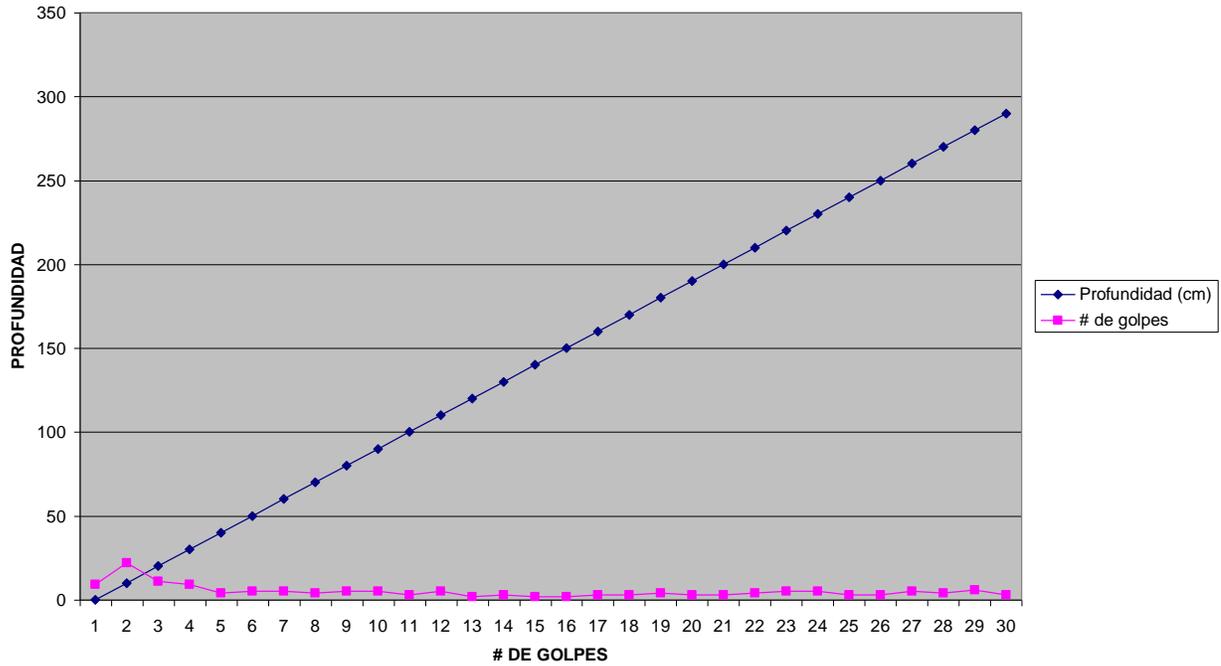


Figura 20. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA		
PDC:		3
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
100	110	4
110	120	6
120	130	2
130	140	2
140	150	3
150	160	2
160	170	2
170	180	2
180	190	2
190	200	2
200	210	2
210	220	2
220	230	3
230	240	3
240	250	3
250	260	4
260	270	5
270	280	5
280	290	4
290	300	4

Tabla 18. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #3

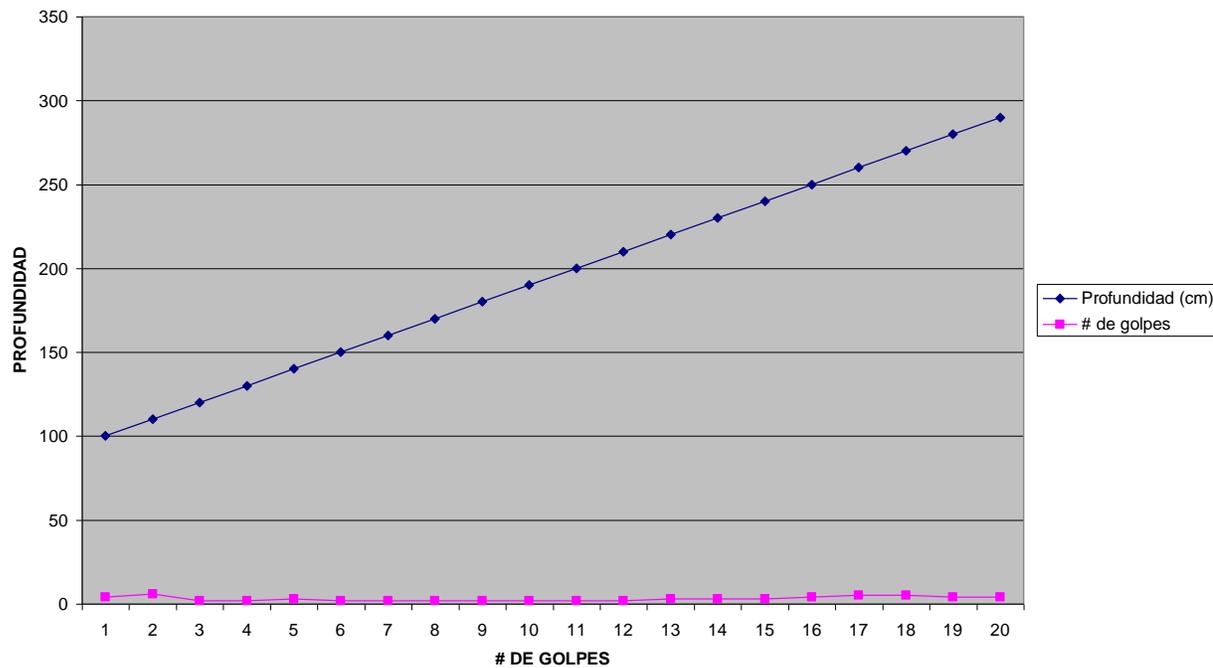


Figura 21. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA		
PDC: 4		
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	10	3
10	20	1
20	30	1
30	40	1
40	50	1
50	60	2
60	70	2
70	80	3
80	90	3
90	100	3
100	110	2
110	120	2
120	130	2
130	140	2
140	150	2
150	160	2
160	170	2
170	180	2
180	190	2
190	200	4
200	210	4
210	220	4
220	230	3
230	240	4
240	250	4
250	260	4
260	270	3
270	280	4
280	290	4

Tabla 19. Datos P.D.C. 4 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #4

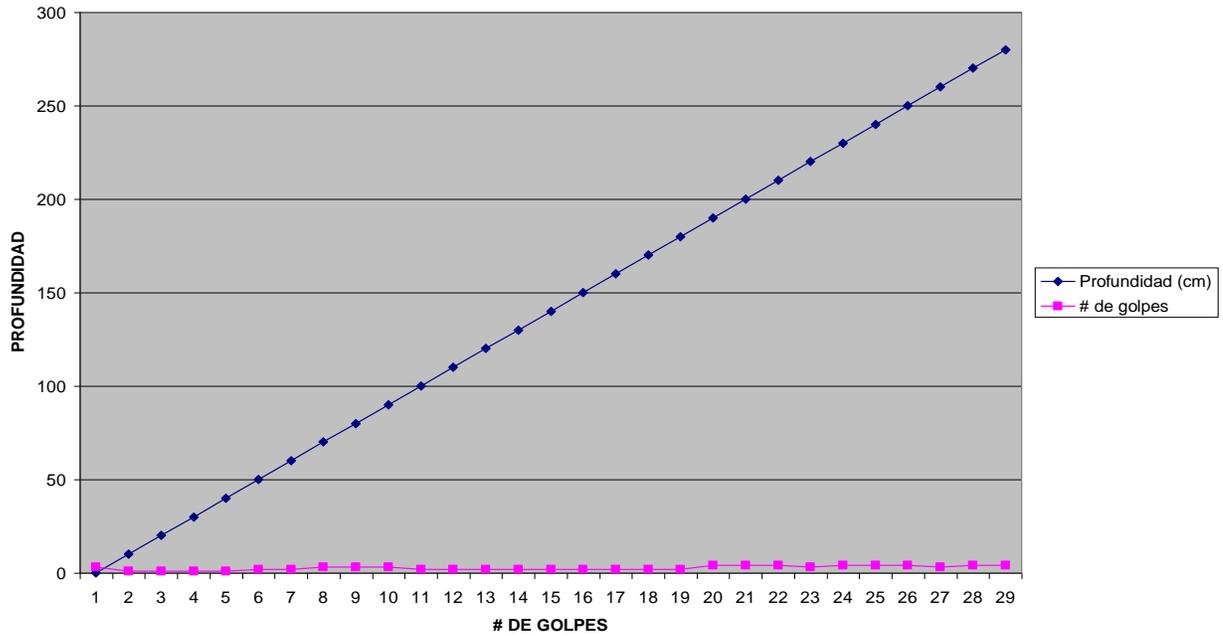
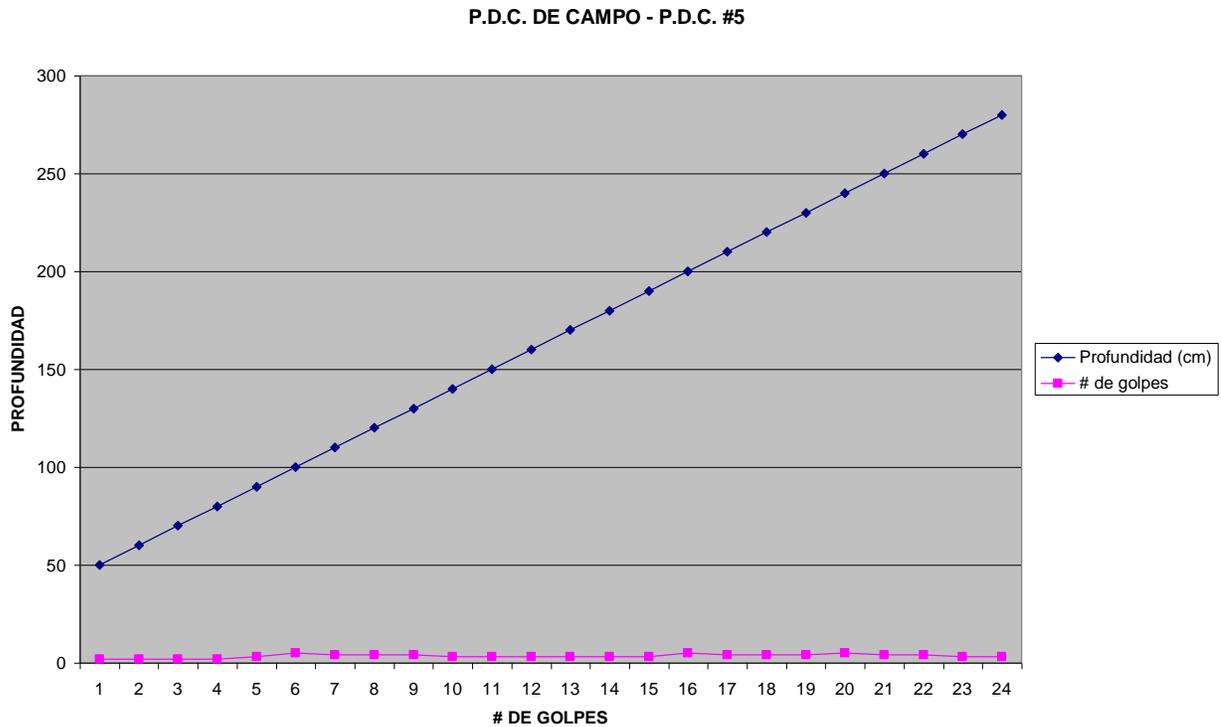


Figura 22. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #4 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.

PROYECTO: VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA		
PDC:		5
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
50	60	2
60	70	2
70	80	2
80	90	2
90	100	3
100	110	5
110	120	4
120	130	4
130	140	4
140	150	3
150	160	3
160	170	3
170	180	3
180	190	3
190	200	3
200	210	5
210	220	4
220	230	4
230	240	4
240	250	5
250	260	4
260	270	4
270	280	3
280	290	3

Tabla 20. Datos P.D.C. 5 de campo – Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.



**Figura 23. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #5 - Proyecto VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA.**

## **2.1.6. PROYECTO CALLE 150 - REFOUS**

### **2.1.6.1. Descripción**

La vía del proyecto es una vía tipo V-6 que pasa por el costado oriental y corresponde a la calle 150A entre carreras 100 y 101. Esta vía no continúa al costado oriental y se construirá paralela al lote de la urbanización en una longitud aproximada de 100 m.

### **2.1.6.2. Exploración del subsuelo**

Para la exploración del subsuelo de este proyecto, se realizaron un total de 3 perforaciones que alcanzaron profundidades comprendidas entre 5.2 m y 6.6 m bajo el nivel superficial actual.

Estas perforaciones fueron realizadas con equipo motorizado de broca helicoidal y muestreo continuo cuyos resultados se complementaron con ensayos de resistencia al corte con veleta in-situ.

Adicionalmente se excavó un apique para extracción de una muestra inalterada en molde C.B.R. Como complemento a esta información se realizó un sondeo a 6.6 m y un apique para extraer una muestra C.B.R. Este ensayo se realizó a humedad natural y después de saturar la muestra durante 96 horas. Las muestras ensayadas se extrajeron entre 0.90 m y 1.2 m, y se determinó como C.B.R. de diseño un valor de 3.5%.

### **2.1.6.3. Estratigrafía**

De forma general el perfil estratigráfico se puede describir así:

- a. Superficialmente aparecen rellenos de arcilla gris y la capa vegetal con espesores en conjunto que varían entre 1.1 m y 1.8 m.
- b. Sigue una arcilla orgánica café a café oscura con raíces, de consistencia media, que alcanza profundidades entre 2.1 m y 2.5 m bajo la superficie.
- c. A continuación, aparece una capa de arcilla gris vetada a gris verdosa, de consistencia media que alcanza profundidades entre 3.4 m y 3.8 m bajo el mismo nivel.
- d. Por último y alcanzando el nivel de perforación en todos los sondeos se encuentran limos arcillosos de color gris a café de consistencia media a plástica.

En el momento de realizar las perforaciones se detectó agua libre a profundidades entre 2.4 m y 4 m bajo el nivel de la superficie.

### **2.1.6.4. Datos P.D.C. de campo**

Del estudio de suelos se recopilaron los siguientes datos de P.D.C. de campo (*Ver ANEXO 1 – DATOS DE P.D.C. DE CAMPO*):

PROYECTO: CALLE 150A - REFOUS		
PDC:		1
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
90	100	1
100	110	1
110	120	1
120	130	1
130	160	1
160	180	1
180	210	1
210	230	1
230	250	2
250	260	1
270	280	1
280	290	1
290	300	1

Tabla 21. Datos P.D.C. 1 de campo – Proyecto CALLE 150A – REFOUS

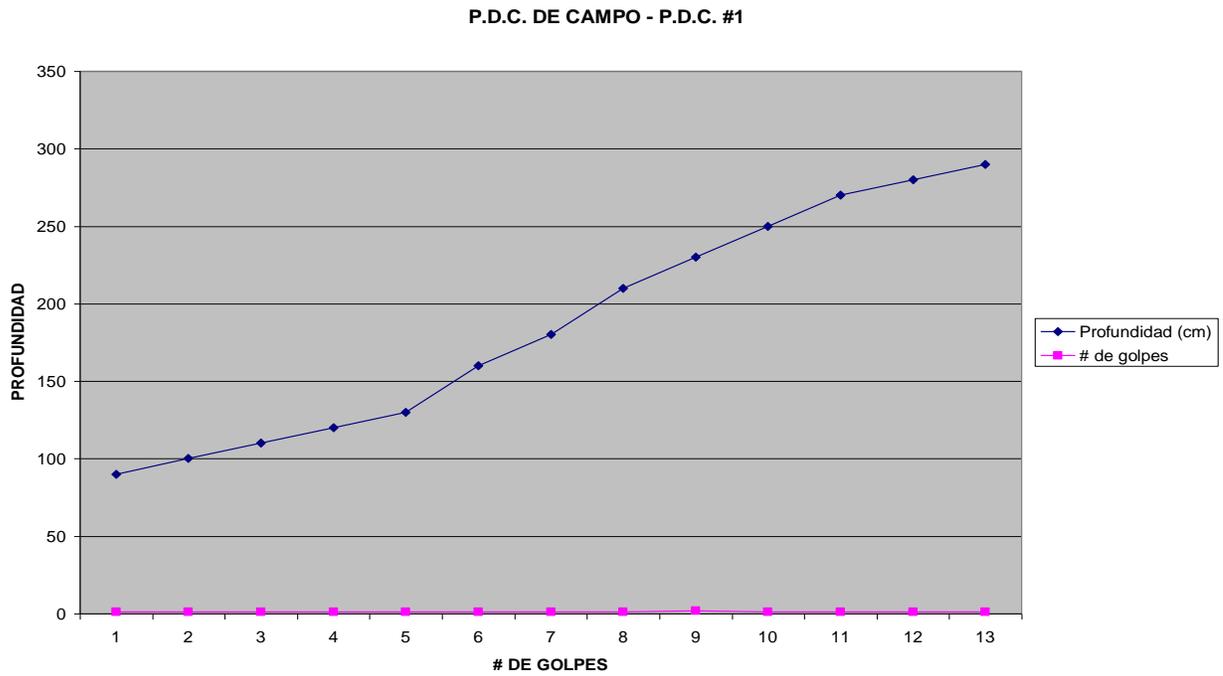


Figura 24. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #1 - Proyecto CALLE 150A – REFOUS

PROYECTO: CALLE 150A - REFOUS		
PDC:		2
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
90	100	2
100	110	1
110	120	1
120	130	2
130	140	1
140	155	1
150	160	1
160	170	1
170	180	1
180	190	1
190	200	1
200	210	1
210	220	1
220	230	1
230	240	1
240	250	2
250	260	2
260	270	2
270	280	3
280	290	3
290	300	2

Tabla 22. Datos P.D.C. 2 de campo – Proyecto CALLE 150A – REFOUS

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #2

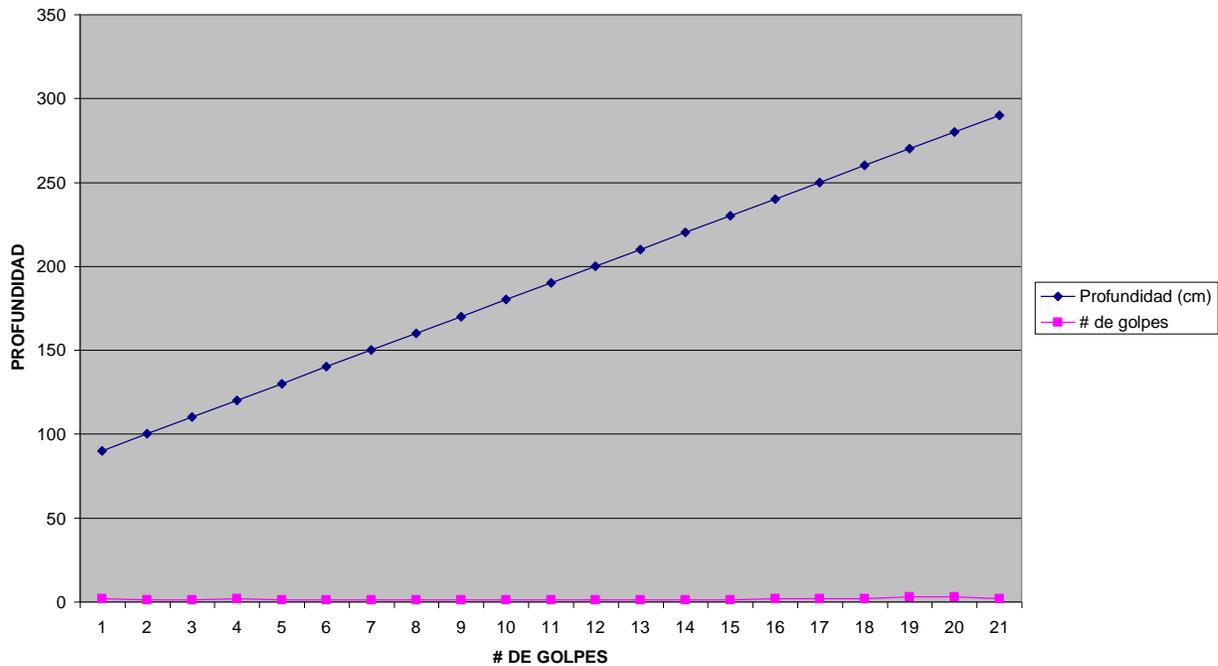


Figura 25. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #2 - Proyecto CALLE 150A – REFOUS

PROYECTO: CALLE 150A - REFOUS		
PDC:		3
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
90	100	1
100	110	1
110	120	1
120	130	2
130	140	2
140	155	1
155	170	1
170	185	1
185	200	1
200	210	1
210	220	1
220	230	2
230	240	2
240	250	1
250	260	1
260	270	2
270	280	2
280	290	2
290	300	3

Tabla 23. Datos P.D.C. 3 de campo – Proyecto CALLE 150A – REFOUS

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #3

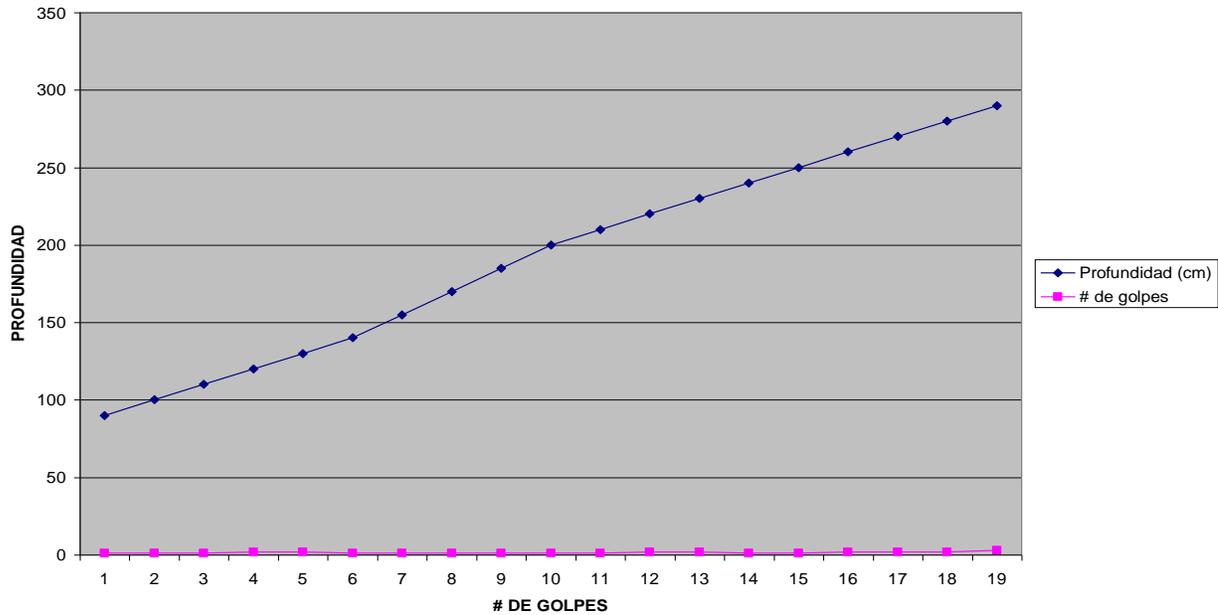


Figura 26. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #3 - Proyecto CALLE 150A – REFOUS

PROYECTO: CALLE 150A - REFOUS		
PDC:		4
PROFUNDIDAD (cm)		NUMERO DE GOLPES
DE	HASTA	
0	110	0
110	120	2
120	130	2
130	142	2
142	152	2
152	150	2
150	162	2
162	170	1
170	180	1
180	190	1
190	200	2
200	210	1
210	220	2
220	230	1
230	240	1
240	250	1
250	260	1
260	272	2
272	280	1
280	290	2
290	300	1

Tabla 24. Datos P.D.C. 4 de campo – Proyecto CALLE 150A - REFOUS

P.D.C. DE CAMPO - P.D.C. #4

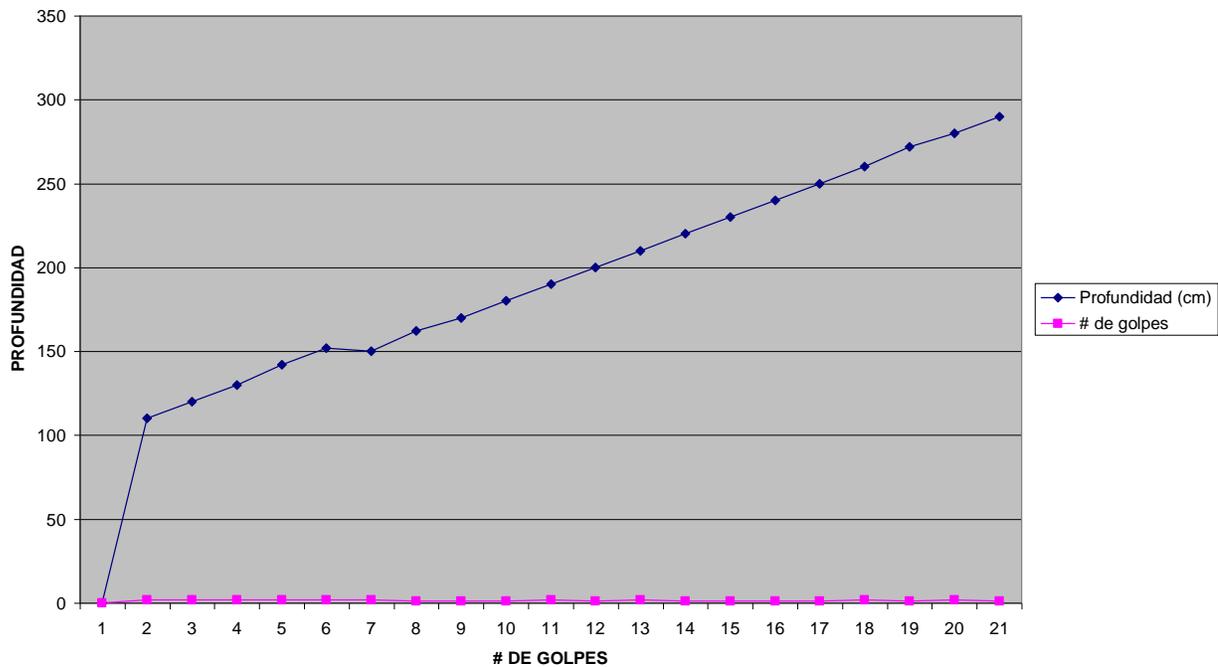


Figura 27. Grafica de P.D.C. de campo – P.D.C. #4 - Proyecto CALLE 150A – REFOUS

### 3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para determinar la correlación del Índice P.D.C. con C.B.R. fue necesario seguir el siguiente procedimiento:

- Se recopilaron todos los datos de P.D.C. de campo de los 6 estudios de suelos para vías, de tal forma que de cada estudio de suelo se seleccionaron datos representativos de “Numero de Golpes P.D.C.” con su respectivo valor de C.B.R.
- Para la selección de los datos representativos se tuvo en cuenta el “Numero de Golpes P.D.C.” para una determinada profundidad y su respectivo resultado del ensayo C.B.R. a la misma profundidad. Además, se tuvo en cuenta la localización de los sondeos (Ver ANEXO 3 – MAPAS DE SONDEOS). Ejemplo: Como se indica en la Figura 4, se tomaron los datos representativos comparando el “Numero de Golpes P.D.C.” y su respectivo valor de C.B.R. a la misma profundidad y además su localización en el mapa de sondeos, es decir, en la Figura 4, **S1** corresponde a **P.D.C. 1**, por lo tanto **C.B.R. 1** es un valor que se puede comparar con el **P.D.C.1** siempre y cuando estén a la misma profundidad. Por lo anterior, **C.B.R. 3** no sería posible compararlo ni con **S1** ni con **S2** ya que se encuentra muy alejado de los mismos, por tal razón, no se consideraría un dato representativo para la correlación.

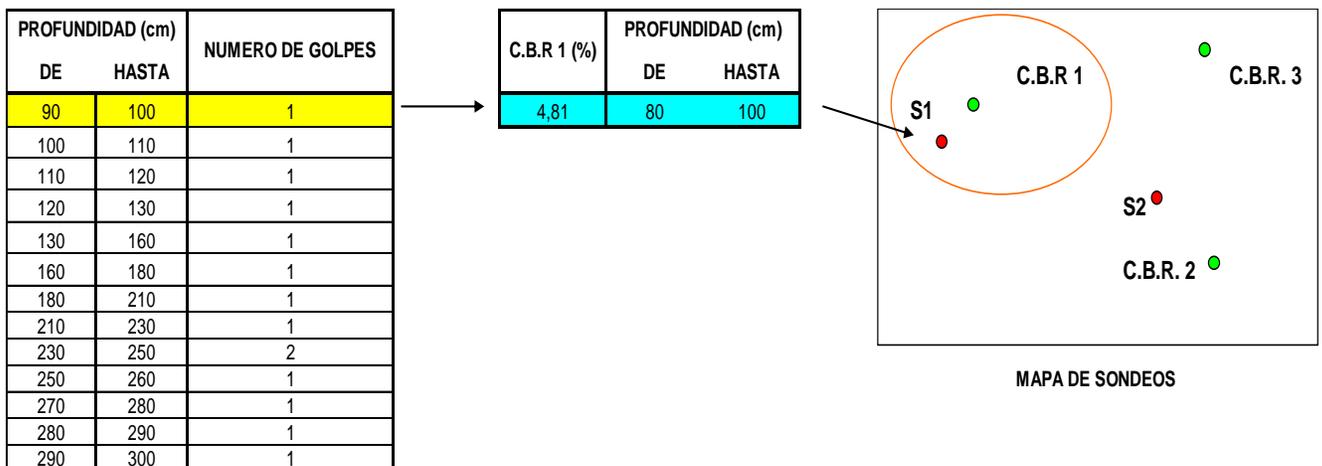


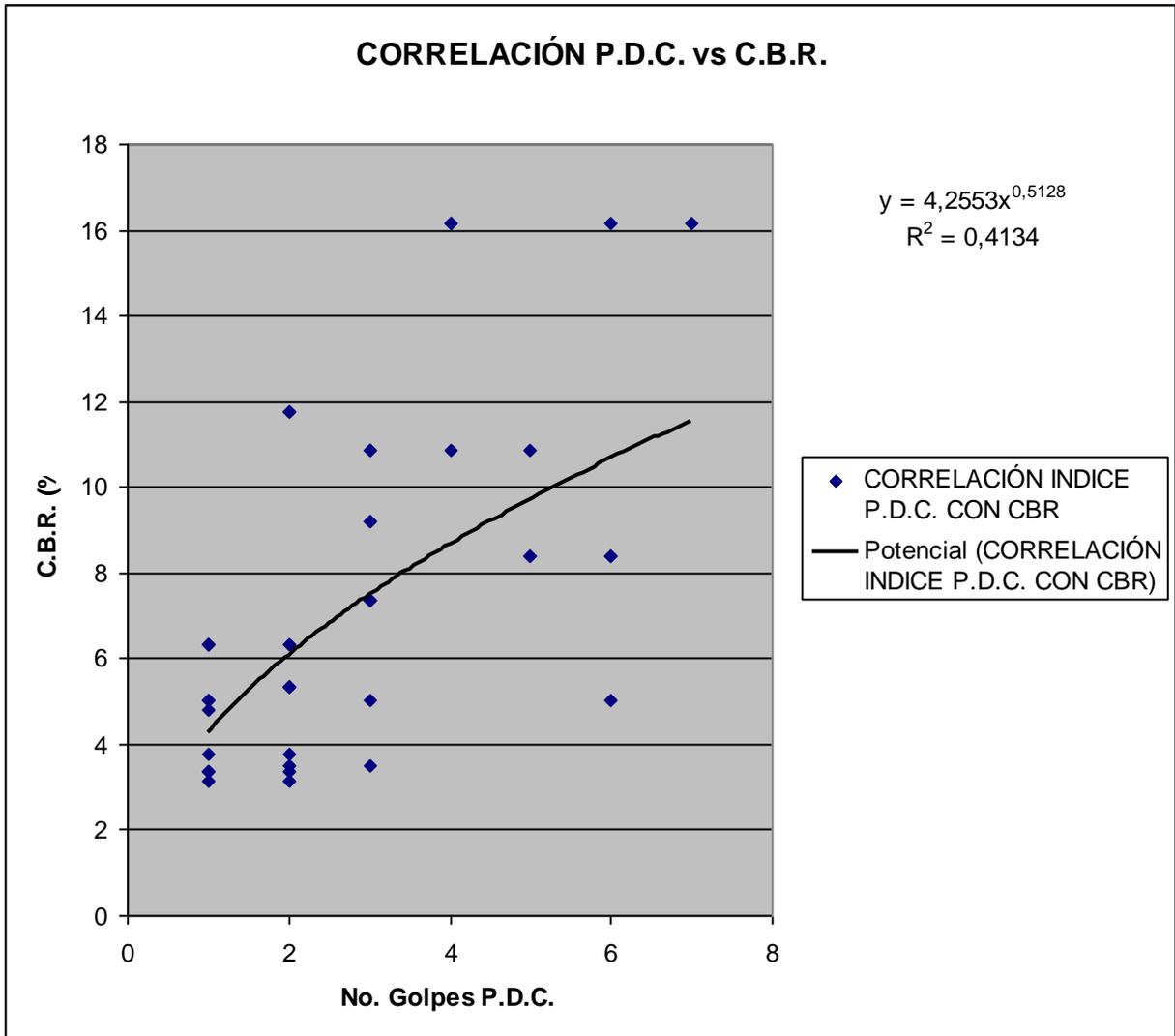
Figura 28. Esquema de procesamiento de la información.

- Una vez establecidos los datos representativos, se recopilaron en una tabla para tener una nube de datos y graficar la correlación P.D.C con C.B.R. La tabla contiene los siguientes datos:

CORRELACIÓN P.D.C. vs C.B.R.				
PROYECTO	DESCRIPCIÓN EN MAPA DE SONDEOS	PROFUNDIDAD	Numero de Golpes P.D.C.	Relación de soporte C.B.R. (%)
CALLE 150A - REFOUS	Comparación entre C.B.R. 1 - S2 y S3.	1.20 - 1.40	2	5,32
			2	5,32
			2	5,32
	Comparación entre C.B.R.2 - S1.	0.80 - 1.00	1	4,81
VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA	Comparación entre C.B.R. 1 - S1 y S2.	1.00 - 1.20	4	10,85
			3	10,85
			3	10,85
			5	10,85
	Comparación entre C.B.R. 2 - S4.	0.80 - 1.00	3	9,21
			3	9,21
Comparación entre C.B.R. 3 - S5.	0.80 - 1.00	2	3,48	
		3	3,48	
PROYECTO FARMATODO 167	Comparación entre C.B.R. 1 - S1.	1.00 - 1.20	2	11,77
			2	11,77
	Comparación entre C.B.R. 2 - S2 Y S3.	1.30 - 1.50	1	6,35
			1	6,35
			2	6,35
			1	6,35
VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA	Comparación entre C.B.R. 1 - S1 Y S2.	0.70 - 0.90	1	3,36
			2	3,36
			1	3,36
			1	3,36
	Comparación entre C.B.R. 2 - S4.	0.60 - 0.80	2	3,78
			1	3,78
	Comparación entre C.B.R. 3 - S3 Y S6.	0.70 - 0.90	1	5,04
			1	5,04
6			5,04	
Comparación entre C.B.R. 4 - S5.	0.50 - 0.70	3	5,04	
		2	3,15	
			1	3,15
VIAS ALMUVA	Comparación entre C.B.R. 1 - S1 Y S2.	0.50 - 0.70	3	7,37
			3	7,37
			3	7,37
			3	7,37
	Comparación entre C.B.R. 2 - S3 Y S4.	0.70 - 0.90	6	8,40
			6	8,40
			5	8,40
			5	8,40
CALLE 142 Y 142C CAFAM - GAVILANES	Comparación entre C.B.R. 1 - S1 Y S2.	0.80 - 1.00	4	16,18
			4	16,18
			7	16,18
			6	16,18

**Tabla 25. Datos Representativos para la correlación P.D.C. con C.B.R.**

- Con los datos representativos se realizó la siguiente gráfica:



**Figura 29. Correlación P.D.C. vs C.B.R. y línea de tendencia.**

- Una vez graficados los datos de la Tabla 25, se determinó una línea de tendencia que representa la correlación P.D.C. con C.B.R. (ver *Grafica 1*) y una ecuación potencial de la forma:

$$Y = 4,2553 X^{0,5128} \text{ con } R^2 = 0,4134 \text{ (2)}$$

En donde,

$X$  = Numero de Golpes P.D.C.

$Y$  = C.B.R. (%)

- Una vez determinada la ecuación de la correlación P.D.C. con C.B.R. para los datos de los estudios de suelos para vías seleccionados para nuestro trabajo, la comparamos con la ecuación del “US Army Corps of Engineers” que se muestra a continuación:

$$\text{C.B.R.} = 292 / \text{D.C.P.}^{1,12} \text{ (3)}$$

En donde,

$D.C.P.$  = Índice P.D.C.

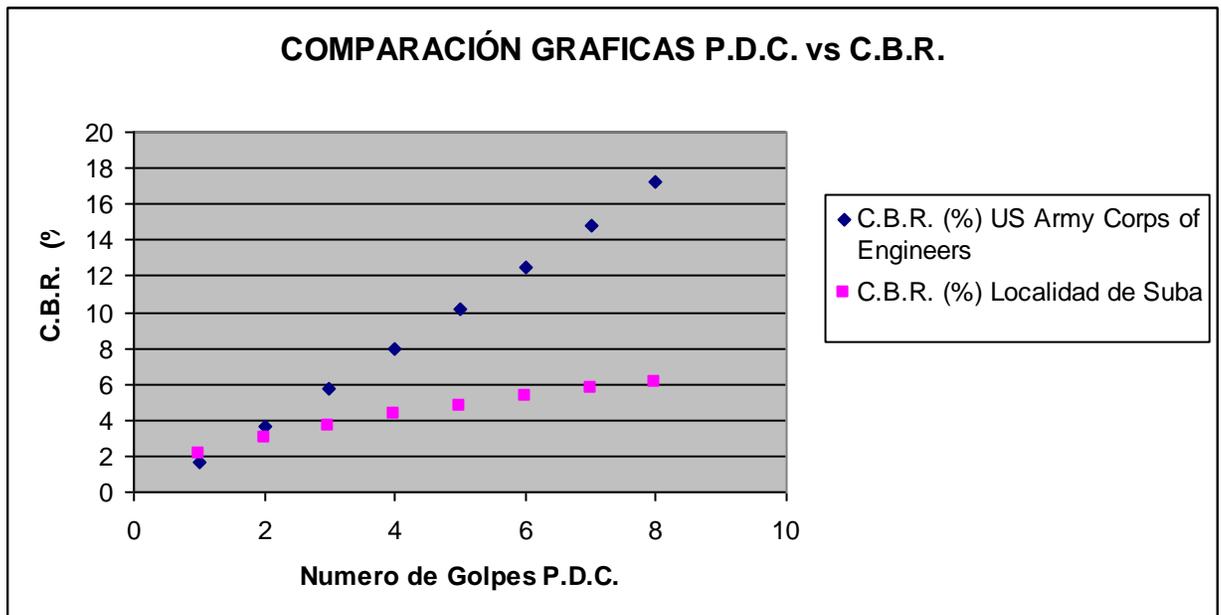
$C.B.R.$  = Valor de Soporte del Suelo (%)

- Para comparar las gráficas se utiliza el mismo rango de “Numero de Golpes P.D.C.” utilizado para hallar la ecuación de la correlación P.D.C. con C.B.R. para la localidad de Suba y se hallan los valores de C.B.R. con las dos ecuaciones. Para lo anterior se tiene la siguiente tabla:

Numero de Golpes P.D.C.	C.B.R. (%) US Army Corps of Engineers	C.B.R. (%) Localidad de Suba
1	1,68	2,10
2	3,65	3,00
3	5,75	3,69
4	7,94	4,28
5	10,19	4,80
6	12,50	5,27
7	14,86	5,70
8	17,25	6,10

Tabla 26. Datos para comparación de Gráficas P.D.C. vs C.B.R.

- Finalmente, con los datos de la Tabla 26 se obtuvo la siguiente gráfica:



**Figura 30. Comparación Gráficas P.D.C. vs C.B.R. y línea de tendencia.**

Una vez procesada toda la información se obtienen resultados importantes que deben ser analizados.

#### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

- Se encontró que la ecuación **(2)**, para efectos de este trabajo, es la que más se ajusta a la correlación P.D.C. con C.B.R. con los datos obtenidos de los estudios de suelo para vías de la localidad de Suba, y que tiene el valor de  $R^2$  más alto. Sin embargo, el  $R^2 = 0,4134$  obtenido, nos indica, que no existe una homogeneidad en los datos representativos, es decir, que existen valores de CBR medidos en laboratorio muy altos comparados con los que resultan de la correlación.
- La **Gráfica 2** nos muestra que, con la ecuación del “US Army Corps of Engineers” se obtienen valores de C.B.R. de diseños más altos con el mismo número de golpes, que los obtenidos con la ecuación calibrada para la localidad de Suba en este trabajo.

## 5. CONCLUSIONES

Se encontró que para efectos de este trabajo no es viable aplicar la ecuación del “US Army Corps of Engineers” para suelos colombianos, ya que los resultados obtenidos pueden no representar correctamente el comportamiento y la capacidad de soporte de nuestros suelos.

Los resultados de C.B.R. obtenidos con la ecuación “US Army Corps of Engineers” son mucho mayores que los obtenidos con la ecuación calibrada, en este caso, para suelos en la localidad de Suba, por lo tanto, se puede incurrir en un margen de error considerable en el momento de seleccionar el C.B.R. de diseño para pavimentos.

Por otra parte, es posible calibrar una ecuación para la correlación P.D.C. con C.B.R. con un margen de error más pequeño, si se tienen una mayor cantidad de datos homogéneos, de esta forma se obtendrían valores de  $R^2$  mas cercanos a 1.

Finalmente, consideramos que, dados los resultados presentados en nuestro trabajo, no es 100% confiable utilizar la correlación P.D.C. con C.B.R aplicando la ecuación del “US Army Corps of Engineers” como se hace en la actualidad en algunos estudios de suelos para pavimentos.

Se recomienda calibrar una ecuación para cada zona del país, con una mayor cantidad de datos y un alcance más extenso, de tal manera que sea más confiable en el futuro utilizar el P.D.C. para la evaluación del soporte del suelo para proyectos viales en Colombia.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- DESCRIPTION AND APPLICATION OF DUAL MASS DYNAMIC CONE PENETROMETER - US Army Corps of Engineers.
- ESTUDIOS DE SUELO PARA VÍAS – Proyectos “LFO Ingenieros de Suelos LTDA.”