

**CORRELACION ENTRE LOS VALORES DE RESISTENCIA
A LA PENETRACIÓN CONICA D.C.P. Y EL VALOR DE
RELACIÓN DE SOPORTE C.B.R. DE SUELOS PARA LA
REGION GEOLÓGICA DEL ÁREA LOCAL DE
VALLEDUPAR.**

GABRIEL F. LACERA TORRES
Autor del proyecto

ALVARO E. DIAZ
Director del Proyecto

ERNESTO ALTAHONA SUAREZ
Codirector del Proyecto

Modalidad Investigación



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
Bucaramanga
2006**

*El éxito no se logra sólo con cualidades especiales.
Es sobre todo un trabajo de constancia,
de método y de organización.*

J.P. Sergent

*Se alcanza el éxito convirtiendo
cada paso en una meta
y cada meta en un paso.*

C.C. Cortéz

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a mis familiares y amigos, que me apoyaron y alentaron – en especial a mi papá, por su colaboración incondicional y a mi mamá por su eterna fe en mí – y que han sufrido conmigo en el laborioso esfuerzo de completar esta empresa personal. Ellos participaron conmigo desde el comienzo hasta el final.

A mis amigos de la U que fueron una fuente especial de apoyo e inspiración.

Al Ing. Luís Miguel Cotes por su oportuna guía para incursionar en este tema.

Además deseo expresar mi agradecimiento a Jesucristo Hombre, Dr José Luís de Jesús Miranda, el cual durante casi cinco años (y desde siempre) ha sido mi Padre espiritual, maestro, apóstol y amigo. El fue la roca a la que me aferre en momentos donde, sin su conocimiento, no se que hubiera sido de mí. A todos aquellos que piensan como tú y que me acompañaron durante el desarrollo de esta empresa también les debo mi agradecimiento.

Quiero agradecer a la Empresa ALTAINGCIVIL de la ciudad de Valledupar, al Ing. Ernesto Altahona por su valiosa contribución y a su grupo de colaboradores por su apoyo en todas las etapas de este proyecto el cual no habría sido posible sin su cooperación.

Al Ing. José Guillermo Castro por su valiosa contribución económica en el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Álvaro E. Díaz, director de este proyecto por su apoyo técnico y académico.

A todos aquellos que de una u otra forma contribuyeron a mi permanencia dentro y fuera de la Universidad.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL PROYECTO:	13
METODOLOGÍA UTILIZADA	14
1. CAPITULO I.....	15
CONO DINAMICO DE PENETRACION (DCP).....	15
1.1. ASPECTOS GENERALES	15
1.2. RESEÑA HISTORIA DEL DCP	15
1.3. DESCRIPCION FISICA DEL CONO DINAMICO DE PENETRACION (DCP).....	16
1.4. DESCRIPCION DE LA PRUEBA DE DCP	18
1.4.1. Operación del Aparato.....	18
1.4.2. Toma de Lecturas.....	18
1.4.3. Extracción del Aparato.....	19
1.4.4. Cuidados y Mantenimiento	19
1.5. PROFUNDIDADES DE LECTURA EN EL SUELO.....	20
1.6. FRECUENCIA DE LAS LECTURAS.....	20
1.7. ANÁLISIS DE DATOS.	21
1.8. APLICACIONES METODOLOGICAS DEL DCP	23
1.8.1. Relación Entre La Resistencia De Penetración (DCP) Y El California Bearing Ratio (CBR).	23
1.8.2. Relación entre la Resistencia de Penetración DCP y Modulo Elástico (resiliente).....	27
1.8.3. Relación entre el Índice de Penetración y la Resistencia a la penetración Standard (SPT).	30
1.8.4. Relaciones entre la Resistencia de Penetración DCP y Resistencia Cortante de Materiales Cohesivos.....	30
1.8.5. Otras Aplicaciones.....	31
1.9. FACTORES QUE AFECTAN LOS RESULTADOS DEL DCP	32
1.9.1. Efectos del Material	32
1.9.2. Efectos De Confinamiento vertical.....	32
1.9.3. Efecto de Fricción Lateral	33
2. CAPITULO II.....	34
RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA	34
2.1. ASPECTOS GENERALES	34
2.2. DEFINICION	34
2.3. APLICACIONES	35
2.4. VARIANTES DEL ENSAYO DE CBR	37
2.5. RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO (CBR "IN SITU")	37
2.5.1. Equipo necesario	38

2.5.2.	Procedimiento de ensayo	39
2.5.3.	Cálculos	40
2.5.4.	Análisis de Resultados	40
3.	CAPITULO III.....	41
	ENSAYO DE DENSIDAD DEL CONO Y LA ARENA	41
3.1.	ASPECTOS GENERALES	41
3.2.	MÉTODO DEL CONO Y LA ARENA	41
3.2.1.	Objeto del ensayo.....	41
3.2.2.	Equipo para el ensayo	42
3.2.3.	Procedimiento de ensayo	43
3.2.3.1.	Determinación de la densidad de la arena empleada	43
3.2.3.2.	Determinación de la Constante del cono	44
3.2.3.3.	Procedimiento de ensayo en el terreno.	44
4.	CAPITULO IV	47
	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)	47
4.1.	ASPECTOS GENERALES	47
4.2.	OBJETIVO	47
4.3.	EQUIPO.....	48
4.4.	PROCEDIMIENTO.....	48
5.	CAPITULO V	50
	LIMITES DE ATTERBERG	50
5.1.	ASPECTOS GENERALES	50
5.2.	DEFINICIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO	51
5.2.1.	Equipo	51
5.2.2.	Procedimiento para obtener el Límite Líquido.	51
5.3.	DEFINICION DE LIMITE PLASTICO	53
5.3.1.	Equipo.	53
5.3.2.	Procedimiento para obtener el Límite Plástico.....	53
5.4.	INDICE PLASTICO	54
6.	CAPITULO VI	55
	ANÁLISIS GRANULOMETRICO	55
6.1.	OBJETIVO	55
6.2.	TEORIA	55
6.3.	ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR MALLAS O ANÁLISIS MECANICO.	55
6.3.1.	Equipo	55
6.3.2.	Procedimiento del ensayo.....	56
6.4.	CLASIFICACION DE LOS SUELOS.....	58
6.4.1.	Sistema Unificado (U.S.C.).....	58
6.4.2.	Clasificación de la A.A.S.H.T.O.	59

7.	CAPITULO VII	61
	INDICE DE CORRELACION ENTRE VARIABLES CUANTITATIVAS.....	61
	7.1. DEFINICION DE RELACION ENTRE VARIABLES	61
	7.2. COMPONENTES ELEMENTALES DE RELACION ENTRE VARIABLES.....	62
	7.2.1. La Fuerza.....	62
	7.2.2. El Sentido	62
	7.2.3. La Forma	63
	7.3. CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE AJUSTE Y SUS ECUACIONES.....	64
	7.3.1. Ecuación de regresión lineal simple	65
	7.3.2. Ecuación de Regresión Lineal Múltiple.....	66
	7.4. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON.....	67
	7.5. ERROR CUADRATICO MEDIO.....	68
8.	CAPITULO VIII	69
	ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	69
	8.1. DOCUMENTACION.....	69
	8.2. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE ENSAYOS	69
	8.2.1. Exploración Superficial	70
	8.2.2. Exploración Subsuperficial.....	72
	8.3. PROGRAMA DE PRUEBAS Y RECOLECCION DE DATOS	73
	8.3.1. Ensayo De Densidad De Cono Y De Arena.....	74
	8.3.1.1. Resultados de los Ensayos de Densidad.....	75
	8.3.2. Ensayo De CBR In Situ	76
	8.3.2.1. Resultados CBR in situ	82
	8.3.3. Ensayo De Penetración De Cono Dinámico (DCP)	83
	8.3.3.1. Orden e instante del ensayo	83
	8.3.3.2. Sitio de auscultación:	84
	8.3.3.3. Numero de Ensayos de DCP por sitio	84
	8.3.3.4. Profundidad de auscultación:.....	85
	8.3.3.5. Tratamiento de los datos.....	85
	8.3.3.6. Resultados del ensayo de DCP	88
	8.3.4. Ensayos De Laboratorio	89
	8.3.4.1. Resultados de Clasificación y Humedad.....	89
9.	CAPITULO IX	91
	ANALISIS DE RESULTADOS.....	91
	9.1. CBR in situ CON DCP PARA 19 MUESTRAS SM Y SW-SM.....	92
	9.2. CRB, DENSIDAD, DCPI (19 MUESTRAS SM Y SW-SM).....	93
	9.3. CRB, HUMEDAD, DCPI (19 MUESTRAS SM Y SW-SM)	93
	9.4. CRB, HUMED, DENSIDAD, DCPI 19 MUESTRAS SM Y SW-SM)	93
	9.5. CBR in situ CON DCPI PARA 15 MUESTRAS SM.....	93
	9.6. CRB, DENSIDAD, DCPI PARA 15 MUESTRAS SM	94
	9.7. CRB, HUMEDAD, DCPI PARA 15 MUESTRAS SM.....	94
	9.8. CRB, HUMEDAD, DENSIDAD, DCPI (15 MUESTRAS SM).....	94

9.9.	CBR in situ CON DCPI PARA 4 MUESTRAS SW-SM.....	94
9.10.	CRB, DENSIDAD, DCPI PARA 4 MUESTRAS SW-SM.....	94
9.11.	CRB, HUMEDAD, DCPI PARA 4 MUESTRAS SW-SM.....	94
9.12.	CRB, HUMED, DENSIDAD, DCPI PARA 4 MUESTRAS SW-SM.....	94
10.	CAPITULO X.....	95
	ANÁLISIS DE COSTOS.....	95
10.1.	VENTAJAS ECONOMICAS DEL DCP.....	95
10.2.	COSTOS DEL PROYECTO.....	95
	ALCANCES Y CONCLUSIONES.....	97
	PROYECCIONES.....	104
	BIBLIOGRAFIA.....	105

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Cono Dinámico de Penetración.....	17
Figura 3.	Hoja de cálculo para el DCP.....	22
Figura 4.	Equipo para determinar el ensayo de densidad de cono de arena.....	42
Figura 5.	Apíque para ensayo de densidad.....	46
Figura 6.	Frasco y cono de densidad.....	46
Figura 7.	Arena del Guamo para densidad en el terreno.....	46
Figura 8.	Definición de Relación entre variables.....	61
Figura 9.	Relaciones No lineales Monotónica y no monotónica.....	64
Figura 10.	Tipos de representación de la línea de ajuste.....	64
Figura 11.	Plano de la ciudad de Valledupar con los grupos de pruebas.....	71
Figura 12.	Cambio del Índice de Penetración a los 300 mm (V. Castro).	73
Figura 14.	Equipo de Densidad de Cono de Arena.....	74
Figura 15.	Barrio Panamá: Suelo no modificado por actividades de construcción durante los dos últimos años anteriores al ensayo.....	76
Figura 16.	Gato mecánico de velocidad media.....	77
Figura 17.	Camioneta Ford 350 tipo estaca acondicionada.....	77
Figura 18.	Bloques de concreto de 1 x 1 x 0.35 m.....	78
Figura 19.	Bloques de 800 kg de peso cada uno.....	78
Figura 20.	Estado de los muelles antes de levantar la camioneta.....	79
Figura 21.	Estado de los muelles después levantar la camioneta.....	79
Figura 22.	Pistón de 10 pulgadas de longitud.....	80
Figura 23.	Apíque para el ensayo de CBR in situ.....	81
Figura 24.	Montaje para el ensayo de CBR in situ.....	81
Figura 25.	Ensayo de Cono Dinámico de Penetración.....	83
Figura 26.	Ensayo de DCP dentro del apíque del CBR.....	84
Figura 27.	Cambio del Índice de Penetración a los 300 mm. Fabr. Apíq1: ...	85
Figura 28.	Relación entre Profundidad y No. de golpes. Ensayo DCP.....	86

Figura 29. Imágenes de Ensayos de laboratorio	89
Figura 30. Variación de CBR in situ con DCP 19 muestras SM y SW-SM .	92
Figura 31. Variación de CBR in situ con DCP para 15 muestras SM	93

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ecuaciones de Correlación desarrolladas entre DCP y CBR.....	25
Tabla 2. Ecuaciones de Correlación entre el DCP y el CBR (Colombia)	26
Tabla 3. Valores de B para calculo de Modulo Resiliente [17].....	28
Tabla 4. Relaciones de Esfuerzo-Penetración para muestra patrón (CBR)..	35
Tabla 5. Clasificación de los suelos de acuerdo al valor de CBR	36
Tabla 6. Clasificación de la subrasante de acuerdo al valor de CBR.	36
Tabla 7. Variación de la densidad del agua vs. Temperatura	44
Tabla 8. Volumen Mínimo Del Orificio Excavado Y Cantidad De Muestra Mínima Para La Determinación De La Humedad	45
Tabla 9. Sistema U.S. Standard Para Numeración De Mallas.....	57
Tabla 10. Clasificaciones suelos y mezclas de suelo agregado (AASHTO) .	60
Tabla 11. Localización puntos donde se realizaron los grupos de ensayos .	71
Tabla 12. Ejemplo típico para el cálculo de la densidad Seca	75
Tabla 13. Resultados de los ensayos de densidad.....	75
Tabla 14. Tabla diseño curva esfuerzo – penetración CBR.....	82
Tabla 15. Resultados de la prueba de CBR in situ	82
Tabla 16. Tabla para el cálculo del Índice de penetración.	86
Tabla 18. Resultados de la prueba de DCP.....	88
Tabla 19. Resultados de la prueba de Clasificación Granulométrica.....	90
Tabla 20. Síntesis de Resultados para 20 muestras de SM, SW-SM y GM	91
Tabla 21. Presupuesto Proyecto De Grado	96
Tabla 22. Resumen de las ecuaciones halladas en este proyecto	102

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS.....	109
PERFILES ESTRATIGRAFICOS DE LA CIUDAD DE VALLEDUPAR	110
PLANO CIUDAD DE VALLEDUPAR	112
MEMORIA DE ENSAYOS DE CONO DINAMICO DE PENETRACIÓN	113
MEMORIA DE ENSAYOS DE CAPACIDAD DE SOPORTE CBR in situ ...	132
MEMORIA DE LOS ENSAYOS DE DENSIDAD DE CONO Y ARENA	142
MEMORIA DE LOS ENSAYOS PARA EL CALCULO DE HUMEDAD	148
MEMORIA DE ENSAYOS DE CLASIFICACION GRANULOMETRICA	154

RESUMEN

TITULO: CORRELACION ENTRE LOS VALORES DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN CONICA D.C.P. Y EL VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE C.B.R. DE SUELOS PARA LA REGION GEOLÓGICA DEL ÁREA LOCAL DE VALLEDUPAR.*

AUTOR: GABRIEL FERNANDO LACERA TORRES **

PALABRAS CLAVES: Cono Dinámico de Penetración, DCP, Índice de Penetración, CBR, CBR in situ, Contenido de humedad, Densidad Seca, Correlación, Subrasante,

DESCRIPCION O CONTENIDO:

Este Proyecto tiene como fin investigar el desarrollo de correlaciones útiles entre la relación de soporte CBR y los valores de penetración cónica (DCP), humedad y densidad seca, para la evaluación preliminar de subrasantes y determinar las características y propiedades propias de los suelos existentes en el área local de Valledupar por medio de las correlaciones propuestas. Sobre la base de los resultados obtenidos se aplicó un método estadístico de regresión obteniéndose una ecuación de correlación entre el CBR, el DCP, la humedad y la densidad seca, garantizando la aplicabilidad de los resultados. El aporte social consistió en ampliar el uso del DCP en la evaluación in situ de suelos en Valledupar como alternativa económica, aportando a la empresa ALTAINGCIVIL de Valledupar las ecuaciones de correlación desarrolladas.

El proyecto se desarrolló en 5 fases: Fase de documentación, Identificación y Selección de los sitios de ensayos, Programa de Pruebas y Recolección de datos, Análisis de Resultados y Conclusiones; El soporte teórico fue consultado en Internet, ensayos de INVIAS y libros relacionados con el tema. Dentro del conjunto de ensayos de laboratorio realizados en este proyecto están los ensayos de humedad (E-122), granulometría (E-123), límite líquido (E-125), límite plástico (E-126), densidad de cono de arena (E-161), CBR in situ (E-169) y ensayo de Cono Dinámico de penetración.(STP 240 -20)

La investigación encontró una relación fuerte y una mayor bondad de ajuste entre el índice de penetración cónica (DCPI) y el CBR in situ para 15 muestras de suelo tipo SM, de un total de 20 muestras de suelo tipo SM, SW-SM y GM, a través de las siguientes ecuaciones: $\text{Log (CBR)} = 2,1940 - 0,0363* (\%H) - 0,8310*\text{Log (DCPI)}$, $r^2 = 0,9068$ y $\text{Log (CBR)} = 2,328 - 1,314*\text{Log (DCPI)}$, $r^2 = 0,8436$.

* Proyecto de Grado. Modalidad Investigación.

** Facultad de Ciencias Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.
Director: Ing. Álvaro E. Díaz Sedano

SUMMARY

TITLE: CORRELATION AMONG THE VALUES OF RESISTANCE TO THE CONICAL PENETRATION D.C.P. AND THE VALUE OF CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R) OF FLOORS FOR THE GEOLOGIC REGION OF THE LOCAL AREA DE VALLEDUPAR. *

AUTHOR: GABRIEL FERNANDO LACERA TORRES * *

KEY WORDS: Dynamic cone Penetration, DCP, Index Penetration, CBR, CBR in situ, Content of humidity, Dry Density, Correlation, Sub-grades,

DESCRIPTION

This Project has as end to investigate the development of useful correlations among the support relationship CBR (California bearing ratio) and the values of conical penetration (DCP), humidity and dry density, for the preliminary evaluation of sub-grades and to determine the characteristics and properties characteristic of the existent floors in the local area of Valledupar by means of the proposed correlations. On the base of the obtained results a statistical method of regression was applied being obtained a correlation equation among the CBR, the DCP, the humidity and the dry density, guaranteeing the applicability of the results. The social contribution consisted on enlarging the use of the DCP in the evaluation in situ of floors in Valledupar like economic alternative, contributing to the company ALTAINGCIVIL of Valledupar the developed correlation equations.

The project was developed in 5 phases: Documentation phase, Identification and Selection of the places of rehearsals, Program of Tests and Gathering of data, Analysis of Results and Conclusions; the theoretical support was consulted in Internet, rehearsals of INVIAS and books related with the topic. The rehearsals of humidity are inside the group of laboratory rehearsals carried out in this project (E-122), grain (E-123), liquid limit (E-125), plastic limit (E-126), density of cone of sand (E-161), CBR in situ (E-169) and rehearsal of Dynamic Cone penetrometer (STP 240 -20).

The investigation found a strong relationship and a bigger adjustment kindness among the index of conical penetration (DCPI) and the CBR in situ for 15 samples of floor type SM, of a total of 20 samples of floor type SM, SW-SM and GM, through the following equations: $\text{Log (CBR)} = 2,1940 - 0,0363 * (\%H) - 0,8310 * \text{Log (DCPI)}$, $r^2 = 0,9068$ and $\text{Log (CBR)} = 2,328 - 1,314 * \text{Log (DCPI)}$, $r^2 = 0,8436$.

* Project of Degree; Investigation Modality.

* * Department Mechanical Physical Sciences; School Of Civil Engineering.

Director: Engineer Álvaro E. Díaz Sedano

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este proyecto tuvo en cuenta propiedades del material importantes que pueden influir en el Índice de Penetración, tales como el contenido de humedad, la granulometría y la densidad, y que pueden influir en los resultados de la ecuación DCP vs. CBR.

Para evitar los efectos de confinamiento y para tener en cuenta las propiedades del material en el terreno, se realizaron ensayos de CBR in situ, los cuales, en este caso son más representativos que los ensayos de CBR de laboratorio. Además, el ensayo de CBR in situ es más aconsejable para suelos arenosos o granulares.

Dentro del conjunto de ensayos de laboratorio realizados en este proyecto están los ensayos de humedad (E-122), granulometría (E-123), límite líquido (E-125), límite plástico (E-126), densidad de cono de arena (E-161), CBR in situ (E-169) y ensayo de Cono Dinámico de penetración.

El ensayo de Cono Dinámico de penetración fue consultado en el Standard test procedures Manual (STP 240 -20) y demás informes obtenidos en Internet. El resto de ensayos fue consultado en los ensayos de INVIAS y demás textos de consulta.

El préstamo de los equipos y la información de datos de los ensayos de estratigrafía de algunos puntos en la Ciudad de Valledupar fueron suministrados por la Empresa AltaIngcivil.

***CORRELACION ENTRE LOS VALORES DE
RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN CONICA D.C.P. Y
EL VALOR DE RELACIÓN DE SOPORTE C.B.R. DE
SUELOS PARA LA REGION GEOLÓGICA DEL ÁREA
LOCAL DE VALLEDUPAR.***

OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL PROYECTO:

- Determinar las características y propiedades propias de los suelos existentes en el área local de Valledupar tales como granulometría, humedad, densidad y capacidad de soporte.
- En cuanto al análisis estadístico de la información, tratar de establecer alguna correlación entre las propiedades del suelo (clasificación, densidad, humedad, capacidad de soporte) y el DCP usando los parámetros que se encuentren en este trabajo y otros trabajos aquí reportados, aplicando modelos múltiples.
- Realizar un barrido de información de los parámetros (A y B) de la ecuación “ $\text{Log (CBR) = A - B Log (DCP)}$ ” para los diferentes tipos de suelos hasta el momento estudiados, para ampliar la base de datos e indagar más sobre las aplicaciones y posibilidades de este equipo en nuestros suelos, incluyendo variables intrínsecas de los materiales que influyan a su vez en la resistencia de los mismos (tales como clasificación, humedad, densidad).

- Ampliar el uso del DCP en la evaluación in situ de suelos existentes en el área local de Valledupar por medio de las correlaciones propuestas.

METODOLOGÍA UTILIZADA

La metodología empleada consiste en la aplicación de los ensayo de C.B.R in situ, densidad de arena, humedad, clasificación y D.C.P a suelos ubicados en la región geológica del área local de la ciudad de Valledupar.

Sobre la base de los resultados obtenidos, se procede a la aplicación de un método estadístico de regresión obteniéndose una ecuación de correlación entre el C.B.R y el D.C.P garantizando la aplicabilidad de los resultados.

El proyecto se desarrolló en 5 fases: Fase de documentación, Identificación y Selección de los sitios de ensayos, Programa de Pruebas y Recolección de datos, Análisis de Resultados y Conclusiones.

La realización de las etapas de recolección, toma de muestras y ensayos de laboratorio en la ciudad de Valledupar, obedece a la disponibilidad de los equipos de auscultación, (donde se cuenta con un DCP) y a la existencia de laboratorios de suelos en dicha ciudad, suministrados por la empresa Ingeniería AltaIngCivil.

1. CAPITULO I

CONO DINAMICO DE PENETRACION (DCP)

1.1. ASPECTOS GENERALES

Este informe presenta una descripción histórica del desarrollo del DCP hasta la actualidad, características físicas del aparato, descripción del ensayo de DCP, parámetros de profundidad de auscultación y frecuencia de las lecturas, aplicaciones actuales del cono de penetración dinámico en la construcción y diseño de pavimentos y los factores que influyen en los valores del Índice de penetración.

1.2. RESEÑA HISTORIA DEL DCP

El registro más antiguo de un dispositivo de prueba para la penetración del sub-suelo similar al DCP es el "ram penetrometer" descubierto en Alemania a finales del siglo XVII por Nicholas Goldmann. Un nuevo y mayor desarrollo se originó en Alemania, cuando Künzel en 1936 descubrió lo que se conoce como un "Prüfstab". Este dispositivo fue utilizado después por Paproth en 1943, y eventualmente se estandarizó en 1964 como "Light Penetrometer", Norma Alemana DIN 4094 ^[4].

En Concurrency con la normalización Alemana del "Light Penetrometer", varios países desarrollaron de otra manera sus normas para dispositivos de penetración. El DCP usado por Mn/DOT y varios DOT's en los Estados Unidos y Canadá, fue originalmente desarrollado por Scala (1956) en Australia. Por consiguiente se adoptó de la Norma Africana Central. Después fue simplificado y modificado por Van Vuuren (1969) en Sur África. ^[3] ^[4] El

interés en los EE.UU. principalmente, se originó a raíz de investigaciones conducidas por Marshall Thompson en la Universidad de Illinois"^[5]. El desarrollo de DCP fue en respuesta a la necesidad de un simple y rápido dispositivo para la caracterización de subrasantes de suelos (p. ej., Melzer y Smoltczyk, 1982; McGrath, 1989; McGrath, et al., 1989; y Mitchell, 1988). El DCP, sin embargo, no era una técnica ampliamente aceptada en los Estados Unidos a principios de los 1980's (Ayers, 1990). Al final de pocos años, algunos DOT'S así como también otras organizaciones han mostrado considerable interés en el uso del DCP por varias razones (p.ej., De Beer and van der Merwe, 1991; Meier y Baladi, 1988; Newcomb, et al., 1994; Newcomb, et al., 1995; Parker, et, el., 1998; Truebe y Evans, 1995; Tumay, 1994; Burnham y Johnson, 1993; and white, et al., 2002). Primero, el DCP es adaptable a muchos tipos de evaluaciones. Segundo, no hay técnicas de evaluación rápida actualmente disponible. Tercero, la prueba de DCP es económica. Además, existen muchas correlaciones que permiten las estimaciones de diverso parámetros así como también la experiencia en el uso del DCP (p. ej., Allersma, 1988; Bester and Hallat, 1977; Bukoski y Selig, 1981; Chen et al., 1999; Chen et al., 2001; y Chan y Armitage, 1997). Un nuevo método estándar de prueba, el **ASTM D6951**, para el uso del DCP en las aplicaciones superficiales de pavimento se ha desarrollado recientemente (ASTM, 2003).

1.3. DESCRIPCION FISICA DEL CONO DINAMICO DE PENETRACION (DCP)

El cono dinámico de penetración DCP está conformado por dos varillas de 0.63 pulgadas. (16 mm) de diámetro. La varilla superior contiene un martillo de 17.6 lb. (8 Kg.) de peso que se deja caer desde una distancia de 22.6 pulgadas (575 mm) en la conexión entre la varilla inferior y la varilla superior

(yunque). La varilla inferior de 31.5 pulgadas (800 mm) posee una punta cónica de 60° de inclinación; el yunque que conecta ambas varillas sostiene un marcador de profundidad o regla graduada para cada 0.04 pulgadas (1 mm) hasta la base del cono (disco metálico atravesado por la varilla inferior) que sostiene la parte inferior de la regla graduada y va apoyado en el suelo. Todos los materiales (excepto la varilla inferior) son de acero inoxidable para la resistencia de corrosión.

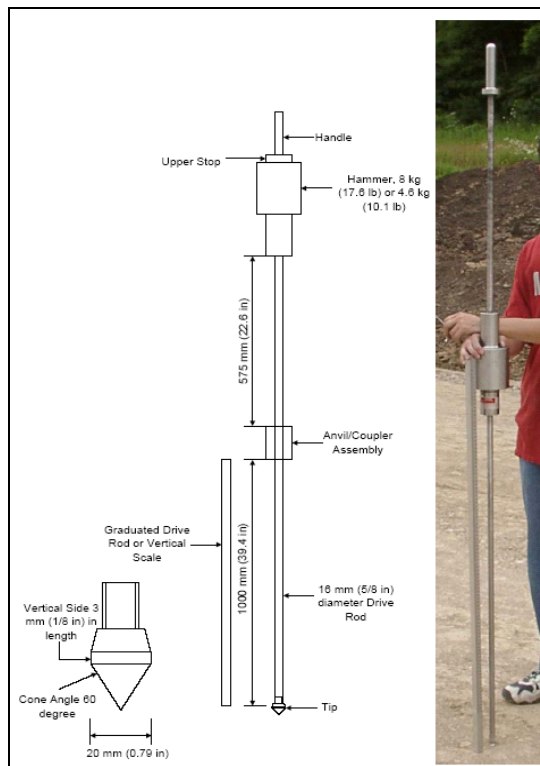


Figura 1. Cono Dinámico de Penetración

1.4. DESCRIPCION DE LA PRUEBA DE DCP

1.4.1. Operación del Aparato

Se exigen dos personas para operar el DCP. Una persona (operador) sostiene el dispositivo por su asa (mango) en una posición vertical y golpea ligeramente el dispositivo usando el martillo hasta que la base del cono esté a ras con la superficie de la tierra. La segunda persona (registrador) chequea el dispositivo para una lectura cero sosteniendo la escala vertical entre la superficie de la tierra y el yunque.

1.4.2. Toma de Lecturas

El marcador de profundidad debe leer 0 milímetros en la escala vertical. En suelos débiles, el peso propio del dispositivo hundirá el cono con su cero lectura. En este caso, la lectura de cero-golpe de penetración es registrada, en milímetros, como medida actual preliminar de profundidad. El martillo se levanta hasta la base del asa ubicada a 575 mm y se deja caer. Se debe tener mucho cuidado al levantar el martillo asegurando que el martillo toque la base del asa pero evitando que el cono se levante antes de que se permita dejarlo caer. El martillo debe permitírsele dejar caer libremente con un movimiento descendente no influenciado por cualquier movimiento de la mano. El operador también debe tener cuidado de no ejercer fuerza descendente en el asa después de dejar caer el martillo.

Tanto el operador como el registrador deben guardar el registro del número de golpes del martillo (golpes) entre las medidas. El registrador es responsable de registrar el número de golpes del martillo entre las medidas. Él también es responsable de medir y registrar la penetración después de cada

set de golpes del martillo. Se graban medidas de penetración al milímetro más cercano.

1.4.3. Extracción del Aparato

Después de completar el test, el DCP es removido golpeando el martillo hacia arriba contra el mango. El martillo debe levantarse en una dirección vertical (en lugar de en un movimiento formando un arco), o la vara puede doblarse o romperse donde se conecta con el yunque. En suelos donde la mayor dificultad se encuentra en extraer el dispositivo de DCP, deben usarse conos desechables. Usando conos desechables se ahorrará el desgaste tanto del dispositivo como del operador.

1.4.4. Cuidados y Mantenimiento

Las pruebas de DCP causan desgaste de las partes metálicas del dispositivo de DCP. Las partes del dispositivo de DCP sufren falla de fatiga y tienen que ser reparadas o reemplazadas en el futuro. El DCP debe guardarse limpio, y debe quitarse toda la tierra de la vara de penetración y del cono antes de cada prueba. Una aplicación ligera de lubricante o de aceite debe aplicarse a la vara que desliza el martillo antes de su uso.

Todas las conexiones deben supervisarse constantemente y deben permanecer firmes. Las conexiones sueltas conducirán a la falla del equipo. Cualquier problema de conexiones debe tratarse con un compuesto para sellar conexiones. Debe verificarse el diámetro de la base del cono para asegurar que este dentro de la tolerancia; Si la punta del cono está embotada, debe reemplazarse. La vara de penetración inferior debe guardarse limpia y lubricada con aceite cuando se prueben tierras de arcilla.

En suelos con agregado grueso, el DCP puede intentar penetrar la tierra a una inclinación en lugar de una dirección vertical. El operador no debe aplicar fuerza en el asa del DCP en un esfuerzo por obligarle a penetrar la tierra verticalmente. La fuerza lateral en el asa en un esfuerzo por hacer que el DCP penetre verticalmente en la tierra causará que la vara del asa superior se fatigue y se rompa en el punto donde se atornilla con el yunque. En cambio, La prueba debe detenerse cuando el asa se desvía 6 pulgadas lateralmente o más de la posición vertical, y debe intentarse una nueva prueba en otro lugar.

1.5. PROFUNDIDADES DE LECTURA EN EL SUELO

Las mediciones pueden ser efectuadas por debajo de los 800 mm de profundidad dependiendo del espesor de la capa homogénea que se desea estudiar o por encima de los 800 mm para una profundidad máxima de 1200 mm por medio de una barra de extensión adicional.

1.6. FRECUENCIA DE LAS LECTURAS

Se debe tomar una lectura por cada golpe del martillo. Si la relación de penetración es menor de 20 mm/golpe, la frecuencia de lecturas puede disminuirse así:

- Una lectura por cada 2 golpes, si penetra 10 a 20 mm por golpe
- Una lectura por cada 5 golpes, si penetra 5 a 9 mm por golpe
- Una lectura por cada 10 golpes, si penetra 2 a 4 mm por golpe.
- Lecturas de penetración menores a 1 mm/20 golpes ó más, deben descartarse.
- En caso de haber alcanzado la profundidad deseada el instrumento es retirado.

1.7. ANÁLISIS DE DATOS.

Los resultados de la prueba de DCP se expresan en términos de índices de penetración (PI), el cual es definido como el desplazamiento vertical descendente del cono del DCP producido por la caída del martillo deslizante (pulg/golpe o mm/golpe). Los suelos duros o muy resistentes requieren un alto número de golpes o caídas del martillo para alcanzar una penetración determinada.

Los resultados de la prueba son recolectados del campo a una hoja como se muestra en la figura 2. Los datos de las primeras dos columnas (numero de golpes y profundidad de penetración) son transferidos directamente de los datos recolectados en campo.

Una vez los resultados son procesados, se realiza una grafica de los puntos: Numero de Golpes (en el Eje X) y Penetración en mm debajo de la superficie (en el Eje Y). La grafica mostrara claramente un perfil de las diferentes capas resistentes. El índice de penetración de ese suelo se calcula a partir de las *pendientes* que generan los puntos ya que La Pendiente corresponde al índice de penetración (PI) en mm/golpe.

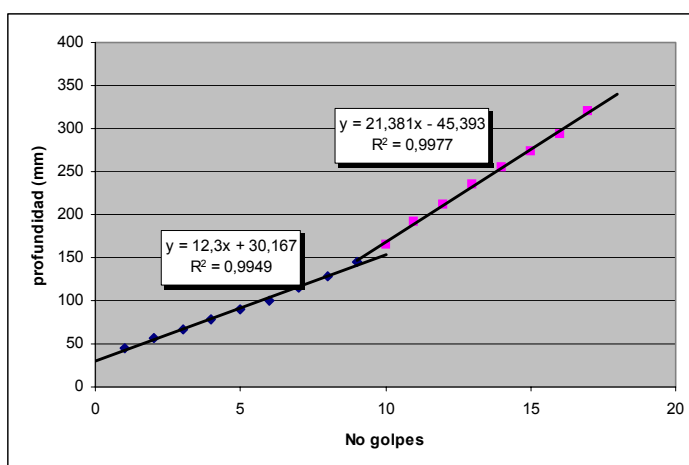


Figura 2 Grafica de índice de penetración

Parque del Colegio de la Cra 4 con 30	
Apíque 1	
No de Golpes	Prof. DCP (mm)
0	
1	45
2	56
3	66
4	79
5	90
6	100
7	115
8	129
9	145
10	165
11	192
12	212
13	235

Figura 3. Hoja de cálculo para el DCP

El índice de penetración del suelo para el ejemplo anterior es de 12.3 mm/golpe, el cual corresponde al estrato homogéneo encontrado hasta los 145 mm de profundidad.

No INDICES	INDICE	Prof (mm)
1	12,3	145
2	21,381	320
INDICE = 17,27		

1.8. APLICACIONES METODOLOGICAS DEL DCP

1.8.1. Relación Entre La Resistencia De Penetración (DCP) Y El California Bearing Ratio (CBR).

Amplias Investigaciones han sido ejecutadas para desarrollar relaciones empíricas entre la resistencia de penetración DCP y las mediciones de CBR (p. ej., Kleyn, 1975; Harison, 1987; Livneh, 1987; Livneh e Ishai, 1988; Chua, 1988; Harison, 1983; Van Vuuren, 1969; Livneh, et. al., 1992; Livneh y Livneh, 1994; Ese et. al., 1994; y Coonse, 1999). Con base en los resultados de estudios pasados, muchas de las relaciones entre DCP y CBR tienen la forma siguiente:

$$\text{Log} (CBR) = a + b \times \text{Log} (DCPI) \quad (1)$$

Donde DCPI = Índice de penetración DCP (en mm/golpe);

a = constante que oscila desde 2.44 a 2.70; y

b = constante que oscila desde -1.07 a - 1.27.

Kleyn ^[6] dirigió pruebas de DCP en 2,000 muestras de material de pavimento en moldes normales y determinando el correspondiente CBR directamente. Basado en sus resultados la correlación siguiente fue recomendada:

$$\text{Log}(CBR) = 2.62 - 1.27 * \text{Log}(PR) \quad (2)$$

Basado en un estudio de campo, Smith-Pratt sugirieron la siguiente correlación ^[7]:

$$\text{Log}(CBR) = 2.56 - 1.15 * \text{Log}(PR) \quad (3)$$

Livneh e Ishia dirigieron una correlación entre el DCP-PR y valores de CBR in-situ usando una amplia gama de muestras de suelos de grano fino (fine-grained) compactado e inalterado, con y sin saturación ^[8]. Compactó suelos granulares en moldes flexibles con presiones laterales variables y controladas. La relación siguiente se obtuvo entre el CBR y el DCP-PR:

$$\text{Log}(CBR) = 2.2 - 0.71 * \text{Log}(PR)^{1.5} \quad (4)$$

Harrison también sugirió las siguientes correlaciones para diferentes suelos^[9]:

$$\text{Log}(CBR) = 2.56 - 1.16 * \text{Log}(PR) \quad (5)$$

Para suelo arcilloso-like de PR > 10 (mm/golpe)

$$\text{Log}(CBR) = 2.70 - 1.12 * \text{Log}(PR) \quad (6)$$

Para suelo granular de PR < 10 (mm/golpe)

Para una gama amplia de materiales granulares y cohesivos, el cuerpo del ejército americano de Ingenieros (U.S. Army Corps of Engineers_Webster et al. (1992)) encontró la relación descrita en la ecuación (7) ^[10]; esta ecuación ha sido adoptada por muchos investigadores ^{[11], [12], [13]}.

$$\text{Log}(CBR) = 2.465 - 1.12 * \text{Log}(PR) \quad \text{ó} \quad CBR = \frac{292}{PR^{1.12}} \quad (7)$$

Un resumen de algunas de estas correlaciones es presentada en la Tabla 1:

Tabla 1. Ecuaciones de Correlación desarrolladas entre DCP y CBR.

Ecuación de correlación	Material ensayado	Referencia
$\text{Log (CBR)} = 2.56 - 1.16 \text{ Log (DCPI)}$	Granular and cohesive	Livneh (1987)
$\text{Log (CBR)} = 2.56 - 1.16 \text{ Log (DCPI)}$	Arcilloso-like PR>10	Harison (1986)
$\text{Log (CBR)} = 2.70 - 1.12 \text{ Log (DCPI)}$	Granular PR<10	Harison (1986)
$\text{Log (CBR)} = 2.55 - 1.14 \text{ Log (DCPI)}$	Granular and cohesive	Harison (1987)
$\text{Log (CBR)} = 2.45 - 1.12 \text{ Log (DCPI)}$	Granular and cohesive	Livneh et al. (1992)
$\text{Log (CBR)} = 2.46 - 1.12 \text{ Log (DCPI)}$	Various soil types	Webster et al. (1992)
$\text{Log (CBR)} = 2.62 - 1.27 \text{ Log (DCPI)}$	Unknown	Kleyn (1975)
$\text{Log (CBR)} = 2.44 - 1.07 \text{ Log (DCPI)}$	Aggregate base course	Ese et al. (1995)
$\text{Log (CBR)} = 2.60 - 1.07 \text{ Log (DCPI)}$	Aggregate base course and cohesive	NCDOT (Pavement, 1998)
$\text{Log (CBR)} = 2.53 - 1.14 \text{ Log (DCPI)}$	Piedmont residual soil	Coonse (1999)

La Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías – UPTC, presentó una síntesis de los resultados obtenidos de ensayos de correlación para 24 muestras de CL y CH. A todas las muestras se le realizaron pruebas de DCP, CBR inalterado (con molde), humedad y densidad (de laboratorio y con densímetro nuclear) ^[14].

Los modelos presentados en dicho artículo resultan especialmente aplicables para suelos de características similares a las encontradas en Tunja y sus alrededores (suelos cohesivos de baja y alta plasticidad). El modelo desarrollado por la UPTC en su informe es similar al desarrollado por Bateman para suelos cohesivos de la ciudad de Bogotá ($\text{CBR} = 37.9 (\text{DCPI})^{-0.69}$). La ecuación fue la siguiente:

$$\text{CBR} = 30.52 (\text{DCPI})^{-0.62} \quad (8)$$

$$\text{Log (CBR)} = 1.48 - 0.62 * \text{Log (DCPI)} \quad (9)$$

Determinaron el CBR a partir del DCPI y la Humedad aplicable en suelos tipo CL:

$$\text{CBR} = 15.18 - 0.62 * \text{DCPI} - 0.08 * H \quad (10)$$

Correlacionaron el DCPI con la Humedad natural del suelo y los límites de Atterberg:

$$W = [0.485 * (\text{DCPI}^{-0.575} - 2.0) * IP] + LP \text{ Arcillas de baja plasticidad (CL)} \quad (11)$$

$$W = [0.629 * (\text{DCPI}^{-0.36} - 2.0) * IP] + LP \text{ Arcillas de alta plasticidad (CH)} \quad (12)$$

Otras investigaciones hechas en Colombia para suelos cohesivos arrojaron los siguientes resultados ^[15]:

Tabla 2. Ecuaciones de Correlación entre el DCP y el CBR hechas en Colombia

<p style="text-align: center;">CORASFALTOS</p> <p>Caracterización de subrasantes y determinación de la relación entre ensayos de uso generalizado.</p> <p style="text-align: right;">Ing. Jhon Wilson Correa.</p>	$\text{Log (CBR)}_{(a 0.1')} = 2.05 - 0.7708 * \text{Log (DCPI)}$ $\text{Log (CBR)}_{(a 0.2'')} = 2.27 - 0.8728 * \text{Log (DCPI)}$
<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DEL CAUCA</p> <p>Método actual para determinar la resistencia de los suelos cohesivos.</p> <p style="text-align: right;">Ing. Eugenio Chavarro Barreto.</p>	$\text{Log (CBR)}_{(a 0.1')} = 2.05 - 0.7708 * \text{Log (DCPI)}$ $\text{Log (CBR)}_{(a 0.2'')} = 2.27 - 0.8728 * \text{Log (DCPI)}$
<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE NARIÑO</p> <p>Estimación del CBR a partir de DCP.</p> <p style="text-align: right;">Ing. Hugo Coral Moncayo.</p>	$\text{Log (CBR)}_{(a 0.1')} = 2.18 - 0.9342 * \text{Log (DCPI)}$ $\text{Log (CBR)}_{(a 0.2'')} = 2.18 - 0.9342 * \text{Log (DCPI)}$

1.8.2. Relación entre la Resistencia de Penetración DCP y Modulo Elástico (resiliente).

El módulo elástico de la subrasante, el cual es usado en métodos de diseño basados en análisis estructural, puede ser determinado indirectamente tanto de la relación entre el módulo de la subrasante (E_s) como del CBR o puede ser predicho directamente de los resultados de DCP. El Manual de Diseño de Estructuras de Pavimento de 1993 de la AASHTO ha adoptado la ecuación (8) para calcular el módulo elástico (M_R) de la subrasante, el cual fue propuesto por Huekelom y Klomp^[15]:

$$M_R(\text{psi}) = 1500 * CBR \quad \text{ó} \quad M_R(\text{MPa}) = 10.34 * CBR \quad (8)$$

Los módulos elásticos de las cuales esta correlación fue desarrollada fueron del orden de 750 a 3000 veces el CBR. También, la fórmula se limita a los suelos de grano fino (fine-grained) con un CBR sumergido de 10 o menos^[13].

Chen et al.^[12] indicó que usando ecuación (7) para calcular el CBR y luego usando la ecuación (9) para calcular los valores del módulo de las pruebas de DCP se obtienen resultados comparables con aquellos del FWD.

Powell et al. [16] sugiere otra relación entre el módulo elástico de subrasante y el CBR como se muestra en la ecuación (9):

$$M_R(\text{psi}) = 2550 * CBR^{0.64} \quad \text{ó} \quad M_R(\text{Mpa}) = 17.58 * CBR^{0.64} \quad (9)$$

Otras ecuaciones relacionan el DCP-PR directamente con el módulo de la subrasante. PEN et al. Sugiere dos relaciones entre el módulo elástico de la subrasante (E_s) en MPa y PR en mm/golpe como se define en las ecuaciones (10) y (11) [17]:

$$\text{Log}(E_s) = 3.25 - 0.89 * \text{Log}(PR) \quad (10)$$

$$\text{Log}(E_s) = 3.652 - 1.17 * \text{Log}(PR) \quad (11)$$

Chua et al. Presentó una nueva aproximación teórica para modelar e interpretar los resultados del DCP con ángulo de vértice de cono de 60° [17]. Un modelo uni -dimensional para el análisis de penetración de un proyectil rígido dentro de un material perfectamente sellado fue usado para recalculer el módulo elástico del medio designado.

Chua desarrolló relaciones teóricas entre DCP-PR y el módulo elástico, E_s , el cual es función de las diferencias de tensión principales en el momento de falla ($2 \tau_o$) como sigue [18]:

$$\text{Log}(E_s) = B - 0.4 * \text{Log}(PR) \quad (12)$$

Donde E_s está en MPa, y B es un valor constante que depende del valor de $2 \tau_o$ (ver Tabla 3). Los resultados de los análisis de regresión conducidos por Chen et al., entre el módulo elástico recalculado FWD (M_{FWD} en MPa) y el DCP-PR resulta en el modelo siguiente ^[19]:

$$M_{FWD} = 338(PR)^{-0.39} \quad (13)$$

(Para 10 mm/golpe < PR < 60 mm/golpe)

Tabla 3. Valores de B para calculo de Modulo Resiliente [17]

Tipo de Suelo	$2 \tau_o$	B
Arcillas plásticas (Plastic clay)	25	2.22
Suelos arcillosos (Clayey soil)	50	2.44
Suelos limosos (Silty soil)	75	2.53
Suelos arenosos (sandy soil)	150	2.63

De Beer et al. También propuso una correlación entre el módulo elástico (E_s) y el DCP-PR el cual tiene una forma similar a la relación de CBR, y se muestra en la ecuación siguiente ^[20]:

$$\text{Log}(E_s) = 3.05 - 1.07 * \text{Log}(PR) \quad (14)$$

Hassan (1996) indicó que la correlación del MR con el DCPI es significativa al contenido óptimo de humedad pero insignificante al contenido óptimo de humedad $\pm 20\%$. Hassan desarrolló un modelo de regresión simple de la siguiente forma:

$$MR \text{ (psi)} = 7013.065 - 2040.783 \text{ LN (DCPI)} \quad (15)$$

Donde DCPI está en pulg./golpe.

Chai y Roslie (1998) usaron los resultados de relaciones CBR - DCP y la prueba DCP para determinar el módulo de la subrasante in situ de la siguiente forma:

$$E(\text{MN/m}^2) = 17.6 (269/\text{DCP})^{0.64} \quad (16)$$

Donde DCP = golpes/300mm penetración.

Chai y Roslie también desarrollaron una relación entre el módulo calculado anteriormente y el valor DCP en la siguiente forma:

$$E(\text{back}) = 2224 \text{ DCP}^{-0.996} \quad (17)$$

Donde E(back) = módulo subrasante recalculado (Back calculated) (MN/m^2).

Jianzhou et al. (1999) encontró que había una fuerte relación entre DCPI y el Modulo Recalculado FWD en la siguiente forma:

$$E(\text{back}) = 338 \text{ DCPI}^{-0.39} \quad (18)$$

George y Uddin (2000) desarrollaron relaciones entre MR y DCPI como función del contenido de humedad, límite líquido, y densidad. Debido a los requerimientos de MDOT para ser capaces de correlacionar MR en tiempo real, ellos también proveyeron relaciones uno-a-uno más simples entre el DCPI y el MR. Para suelos de granos - finos la relación siguiente fue desarrollada:

$$MR = 532.1 DCPI^{-0.492} \quad (19)$$

La relación para suelos de granos - grueso es de la siguiente forma:

$$MR = 235.3 DCPI^{-0.475} \quad (20)$$

1.8.3. Relación entre el Índice de Penetración y la Resistencia a la penetración Standard (SPT).

Sowers and Hedges^[21], y luego Livneh e Ishai^[22], desarrollaron una correlación entre el PI y la resistencia a la penetración Standard (STP, ASTM D1586-64). La ecuación de correlación es de la forma:

$$\text{Log}(PI) = -A + B \times \text{Log}(SPT) \quad (21).$$

(Validos para SPT < 0.40 pulgadas / golpe) (< 10 mm / golpe)

1.8.4. Relaciones entre la Resistencia de Penetración DCP y Resistencia Cortante de Materiales Cohesivos.

Ayers et al^[23] (1989) realizo un estudio de laboratorio para determinar la relación entre el PI y el esfuerzo cortante [cohesión (c) y Angulo de fricción interno (Φ)], propiedades de los materiales granulares de baja cohesión. Ayers predijo una ecuación de la forma:

$$DS = A - B \times (PI) \quad (22)$$

Donde DS = desviación del esfuerzo de falla. (Para presiones de 5, 15 y 30 psi (35, 103 y 207 kpa). La selección de las ecuaciones de predicción apropiadas requiere una estimación de la presión de confinamiento de las

condiciones de carga por debajo del terreno como un indicativo para requerir una investigación adicional.

1.8.5. Otras Aplicaciones

El ensayo DCP puede ser aplicado de varias maneras en la caracterización de materiales de base y en subrasantes. Quizás la mejor cualidad del DCP sea la de entregar un registro continuo de los esfuerzos relativos del suelo con la profundidad. Graficando el índice de penetración PI contra la profundidad, se puede observar un perfil que muestra los espesores de las capas y las condiciones de esfuerzos en que se encuentran. Este puede ser particularmente útil en casos en que no se encuentren los diseños originales de construcción ó que éstos no se hubieran realizado.

El DCP puede ser usado en áreas confinadas como interiores de edificaciones para evaluar asentamientos de fundaciones, ó usarse en sitios congestionados (con árboles, topografía difícil, suelos blandos, etc.).

El DCP puede ser útil para el control de calidad de rellenos con materiales cohesivos y finos, en la aplicación en el control de calidad de capas de bases granulares compactadas, durante la compactación de rellenos de zanjas de desagüe de pavimentos y en la evaluación de capas de pavimentos.

1.9. FACTORES QUE AFECTAN LOS RESULTADOS DEL DCP

1.9.1. Efectos del Material

Varios investigadores han estudiado la influencia de varios factores en el DCPI. Kleyn y Savage (1982) indicaron que el contenido de humedad, gradación, densidad, y la plasticidad son propiedades del material importantes que influyen en el DCPI. Hassan (1996) realizó un estudio de los efectos de varias variables en el DCPI. Concluyó que para suelos de grano fino, el % humedad, la clasificación del suelo, la densidad seca y las presiones de confinamiento influyen en el DCPI. Para suelos de grano grueso, el coeficiente de uniformidad y las presiones de confinamiento son variables importantes.

1.9.2. Efectos De Confinamiento vertical

Livneh, et al. (1995) realizó un estudio integral del efecto de confinamiento vertical en los valores de resistencia del Cono Dinámico de Penetración en la evaluación de pavimentos y subrasantes. Los resultados mostraron que no hay efecto de confinamiento vertical por la estructura rígida del pavimento o por capas cohesivas superiores en los valores de DCP de capas de subrasante de baja cohesividad. Además, sus hallazgos indicaron que no existen efectos de confinamiento vertical debido a capas granulares superiores en los valores DCP de subrasantes cohesivos por debajo de ellas. Hay, sin embargo, efectos de confinamiento vertical debido a capas asfálticas superiores en los valores de DCP de las capas de pavimento granular. Estos efectos de confinamiento normalmente producen una disminución de los valores de DCP. Cualquier diferencia entre los valores de

confinamiento e inconfiamiento en la estructura rígida o en el caso de materiales granulares es debido a la fricción desarrollada en la varilla del DCP a causa de una penetración inclinada o por un colapso de material granular en la superficie de la vara durante la penetración.

1.9.3. Efecto de Fricción Lateral

Puesto que el dispositivo de DCP no es completamente vertical mientras penetra a través del suelo, la resistencia de penetración sería aparentemente más alta debido a la fricción lateral. Este aparente incremento de resistencia también puede ser causado cuando se penetra en un material granular colapsable. Este efecto es generalmente pequeño en suelos cohesivos. Livneh (2000) hizo pensar en el uso de un factor de corrección para corregir los valores de DCP/CBR por el efecto de fricción lateral.

2. CAPITULO II

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA

2.1. ASPECTOS GENERALES

La relación de Soporte de California (California Bearing Ratio), conocida comúnmente como CBR, es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad cuidadosamente controladas, que tiene aplicaciones principalmente en el diseño de pavimentos flexibles. Este ensayo se denomina simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número D 1883-73 de la ASTM y con el numero INV E-148 (CBR de laboratorio) y como ASTM D 4429 y INV E-169 (CBR in situ).

2.2. DEFINICION

El CBR se define como la relación entre el esfuerzo requerido para introducir un pistón normalizado dentro del suelo que se ensaya y el esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón hasta la misma profundidad en una muestra patrón de piedra triturada. Esta relación se expresa en porcentaje.

$$CBR = \frac{ESFUERZO_EN_EL_SUELO_ENSAYADO}{ESFUERZO_EN_LA_MUESTRA_PATRON} \times 100$$

Los valores de esfuerzo para las diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón, son indicados en la tabla 4.

El CBR de una muestra de suelo se determina generalmente para penetraciones del pistón dentro de él de 0.1 y 0.2 pulgadas, eligiéndose el mayor de los dos como el valor representativo.

Tabla 4. Relaciones de Esfuerzo-Penetración para la muestra patrón (CBR)

Penetración (pulgadas)	Esfuerzo lb./pg ²
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

2.3. APLICACIONES

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos 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%.

El CBR establece una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas. La siguiente tabla da una clasificación típica:

Tabla 5. Clasificación de los suelos de acuerdo al valor de CBR

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

Para el diseño de las capas de pavimentos existen métodos en los cuales se leen tablas utilizando directamente el número CBR y se lee el espesor de la subrasante.

Con el resultado del CBR se puede clasificar la subrasante, base o subbase:

Tabla 6. Clasificación de la subrasante de acuerdo al valor de CBR.

CBR	CLASIFICACION
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

2.4. VARIANTES DEL ENSAYO DE CBR

El ensayo de CBR puede efectuarse tanto en el terreno, ensayando el suelo con su humedad natural o sometiéndolo a saturación previa, como en el laboratorio sobre muestras inalteradas o compactadas allí. Las muestras inalteradas deberán ensayarse con su contenido natural de humedad, mientras que las compactadas en el laboratorio pueden probarse luego de inmersión o no, de acuerdo a las condiciones esperadas en el terreno.

Para las muestras preparadas en el laboratorio, se considera que pueden establecerse tres procedimientos de preparación, ensayo y selección de resistencia de los suelos de acuerdo con las características de los mismos: El Método I (gravas, arenas y suelos sin cohesión), el Método II (suelos de plasticidad baja y media, no expansivos) y Método III (suelos de características expansivas).

2.5. RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO (CBR "IN SITU")

Los ensayos de CBR "in situ" son usados para evaluación y diseño en cualquiera de las condiciones siguientes:

- a. Cuando el grado de saturación (porcentaje de "vacíos" llenos con agua) es 80% o mayor;
- b. Cuando el material es de grano grueso y no cohesivo, así que no es afectado de manera significativa por cambios en la humedad o
- c. Cuando el suelo no ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos últimos años anteriores al ensayo.

2.5.1. Equipo necesario

- Gato mecánico de tornillo, operado manualmente, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y de capacidad máxima de 2700 kg (5950 lb).

- Anillo de carga, Pistón de penetración, de $(3 \text{ pulg}^2 = 19.35 \text{ cm}^2$ de área) y aproximadamente 101 mm (4") de longitud. Debe constar además, de un adaptador de pistón y de extensiones de tubo de rosca interna con conectores.

- Diales: uno para medir deformaciones del anillo de carga con lecturas de 0.0025 mm (0.0001") y recorrido de aproximadamente 6.4 mm (0.25") y otro para medir penetraciones del pistón con lecturas de 0.025 mm (0.001") y recorrido de aproximadamente 25 mm (1"), equipado con un soporte o abrazadera de extensión para ajustar la posición del dial.

- Platina de sobrecarga, circular, de acero, de $254 \pm 0.5 \text{ mm}$ (10 ± 0.02 ") de diámetro, con un agujero central circular de $51 \pm 0.5 \text{ mm}$ (2 ± 0.02 "). La platina debe pesar $4.54 \pm 0.01 \text{ kg}$ ($10 \pm 0.02 \text{ lb}$) y dos pesas anulares de sobrecarga de $9.08 \pm 0.01 \text{ kg}$ ($20 \pm 0.02 \text{ lb}$), de $216 \pm 1 \text{ mm}$ (8.5 ± 0.04 ") de diámetro total.

- Vehículo de carga (Reacción): Un vehículo (o pieza de equipo pesado) de carga suficiente para proveer una reacción de aproximadamente 31 kN (6970 lb). El vehículo debe estar equipado con una viga metálica debidamente acondicionada en la parte posterior del chasis que ofrezca una reacción adecuada para forzar la penetración del pistón en el suelo. El vehículo se debe suspender suficientemente para eliminar la influencia de los resortes traseros y permitir que el ensayo de penetración se efectúe sin movimiento ascendente del chasis del vehículo. Para efectuar el ensayo se requiere disponer de un espacio vertical libre de aproximadamente 0.6 m (2 pies).

- Gatos: Dos gatos tipo camión, de (15 toneladas) de capacidad, de doble acción combinada y descenso automático.

- Equipo misceláneo: Envases de muestras para determinación de humedad y peso unitario, espátula, regla de enrase, cucharones para excavar, etc.

2.5.2. Procedimiento de ensayo

- a. Se elige para el ensayo un lugar en el que no haya partículas de tamaño mayor de 3/4", alisándose y nivelándose una zona circular de unos 30 cm de diámetro sobre el terreno.
- b. Se localiza el vehículo en el sitio de prueba, de modo que el montaje del gato mecánico quede directamente sobre la superficie enrasada. Se colocan los gatos de camión a cada lado del vehículo y se levanta para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores; el vehículo debe quedar nivelado en la parte trasera.
- c. Se conecta el anillo de carga al gato mecánico y el pistón de penetración al anillo de carga. Se comprueba el nivel del montaje del gato para asegurar su verticalidad haciendo los ajustes necesarios.
- d. Se coloca la platina de sobrecarga de 4.5 kg (10 lb) debajo del pistón de penetración, de tal forma que cuando baje el pistón, éste pase a través del agujero central.
- e. Se asienta el pistón bajo una carga inicial de aproximadamente (3 lb/pulg²). Adicionar a la platina los pesos de sobrecarga. Se fija el soporte del dial de penetración al pistón y se sujeta el dial a dicho soporte.
- f. Se coloca en cero las lecturas de ambos diales; Se aplica la carga al pistón de penetración de tal manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1.3 mm (0.05") por minuto.

- g. Se registra las lecturas del anillo de carga para cada 0.64 mm (0.025") de incremento de penetración hasta una profundidad final de 12.70 mm (0.500").
- h. Al finalizar el ensayo, se obtiene una muestra en el punto de penetración y para determinar su humedad. También debe determinarse el peso unitario en un sitio localizado de 100 a 150 mm (4" a 6") desde el punto de penetración.

2.5.3. Cálculos

- Se determinan los esfuerzos correspondientes a las lecturas del dial de carga, multiplicando estas por la constante del anillo.

- Se dibuja la curva esfuerzo-penetración y se calculan los valores de CBR corregidas para 0.1 y 0.2 pulgadas de penetración, adoptándose el mayor como representativo.

2.5.4. Análisis de Resultados

En ocasiones no existe una correlación precisa entre los valores de CBR obtenidos en el laboratorio y en el campo, presentándose esta situación con mayor frecuencia en el ensayo de suelos granulares debido a la importancia que en el ensayo de laboratorio ejerce el efecto confinante del molde, mientras que en suelos finos, el efecto puede ser despreciable.

3. CAPITULO III

ENSAYO DE DENSIDAD DEL CONO Y LA ARENA

3.1. ASPECTOS GENERALES

El control de compactaciones de capas de suelo en el campo se realiza comúnmente mediante la verificación de la relación existente entre la densidad alcanzada por el suelo en el terreno al ser sometido a la acción del equipo de compactación y la máxima que sobre el mismo suelo se ha obtenido en el ensayo normalizado de laboratorio.

La obtención en el terreno de la densidad exigida por las especificaciones de construcción, se logra mediante el paso repetido sobre el suelo a compactar, de un equipo adecuado para ello. La comprobación de la densidad así alcanzada se puede efectuar por muchos métodos, de los cuales los de mas corriente uso en nuestro medio son el del cono y la arena, el del balón con agua y el de los densímetros nucleares.

3.2. MÉTODO DEL CONO Y LA ARENA

3.2.1. Objeto del ensayo.

Este método de ensayo consiste en la determinación del peso seco de cierta cantidad de suelo de la capa cuya densidad se desea conocer, así como del volumen del orificio excavado para recoger el suelo, el cual se mide empleando una arena de características especiales. La relación entre el peso seco del material y el volumen del orificio del cual se extrajo, es la densidad seca de la capa cuya compactación se verifica. El empleo del aparato

descrito aquí está restringido a suelos que contengan partículas no mayores de 50 mm (2") de diámetro.

3.2.2. Equipo para el ensayo

- Frasco de vidrio o plástico de aproximadamente 1 galón de capacidad.

- Una pieza metálica (cono) formada por una válvula con orificio de ½ pulgada que termina en un embudo pequeño en uno de sus extremos, el cual se enrosca en el frasco y otro embudo de mayor diámetro en el lado opuesto.

- Placa metálica de base para apoyar el aparato. Esta placa tiene un agujero en el centro, en el cual encaja el embudo mayor del cono.

- Arena de Ottawa o una equivalente (del Guamo).

- Una balanza con sensibilidad de 1 gr. y otra de 0.1 gr, Horno eléctrico, Tamiz No. 4, martillo, cincel, brocha, cucharón, bandeja metálica, frascos para determinación de densidades, etc.



Figura 4. Equipo empleado en este proyecto para la determinación del ensayo de densidad de cono de arena

3.2.3. Procedimiento de ensayo

Antes de la ejecución del ensayo mismo, debe establecerse el valor de ciertas constantes necesarias para el cálculo de las densidades, a saber:

3.2.3.1. Determinación de la densidad de la arena empleada

La arena a utilizar debe ser limpia y seca, de grano redondeado y cuyo tamaño se encuentre comprendido entre los tamices No. 10 y No. 30. Debe además poseer la característica de alcanzar densidad constante cuando cae desde cierta altura, por lo que se prefiere la de Ottawa o alguna equivalente (del Guamo, por ejemplo).

Para hallar su densidad, se atornilla el cono al frasco y luego se llena éste hasta el embudo pequeño inclusive, manteniendo durante esta operación el embudo grande con arena hasta su parte media aproximadamente. Debe evitarse todo tipo de vibración mientras fluye la arena dentro del frasco. Una vez llenos el frasco y el embudo pequeño, se cierra la válvula del cono, se retira el exceso de arena que permanezca en el embudo grande y se pesa el conjunto. Se saca la arena y se pesa el frasco con el cono, obteniéndose por diferencia el peso de la arena que ocupó el frasco y el embudo pequeño.

Se llenan a continuación el frasco y el embudo pequeño con agua hasta el nivel de la válvula y se pesa el conjunto. Al restar de este valor el peso del frasco con el cono se obtiene el peso del agua, el cual dividido por su densidad – que depende de la temperatura – da como resultado el volumen del frasco y el embudo pequeño.

Dividiendo el peso de la arena que ocupó ese espacio por el volumen recién hallado, se obtiene la densidad de la arena.

Tabla 7. Variación de la densidad del agua vs. Temperatura

Temperatura - ° C -	15	17	19	21	23	25	27	29
Densidad gr/c.c	0.99913	0.99880	0.99843	0.99802	0.99757	0.99708	0.99655	0.99598

3.2.3.2. *Determinación de la Constante del cono*

Se denomina constante del cono a la cantidad de arena en gramos que cabe en el espacio ocupado por el embudo grande del cono y en el espacio que deja la placa de base cuando está dispuesta para el ensayo.

Para determinarla, se atornilla el cono en el frasco, se llena éste con arena y se pesa el conjunto. A continuación se coloca la placa de base sobre una superficie plana y lisa, se voltea el frasco de modo que el embudo grande del cono encaje en el orificio de la placa, se abre la válvula y se permite la salida de la arena hasta que deje de fluir, instante en el cual se cierra la válvula, se retira el frasco y se pesa nuevamente.

La diferencia entre el peso inicial y este último, corresponde al peso de la arena que cupo en el embudo grande y en el espacio dejado por la placa, valor que de acuerdo a la definición es la constante del cono.

3.2.3.3. *Procedimiento de ensayo en el terreno.*

- a. Se limpia y empareja el sitio elegido para la determinación de la densidad, se coloca la placa de base de modo que su agujero quede ubicado exactamente sobre el punto de ensayo y se excava con ayuda de cincel y martillo, un orificio de diámetro algo inferior al de la placa de base hasta una profundidad igual al espesor de la capa cuya densidad se está determinando. El volumen mínimo del orificio depende principalmente del tamaño máximo de las partículas del material cuya densidad se determina como se muestra en la tabla 8.

- b. El material extraído se hace pasar por el tamiz No 2” Durante la excavación deberá procederse con especial cuidado, de manera que pueda recuperarse absolutamente todo el material excavado que pasa el tamiz 2”.
- c. Se pesa el material excavado y se lleva parte de él al horno para la determinación de su humedad.
- d. El frasco con su cono se llena de arena y se pesa.
- e. Se invierte el frasco sobre el orificio excavado y luego de que se encuentre asentado debidamente, se abre la válvula permitiendo la salida de la arena hasta que deje de fluir, instante en el cual se cierra la válvula.
- f. Se levanta el frasco con el cono y la arena restante y se pesa.
- g. La parte del material que se ha llevado al horno (aparte 3.2.3.3. b), se mantiene allí a 110 °C durante las 18 horas como mínimo y luego se saca de él, se pesa y se criba a través del tamiz No.4, determinándose el porcentaje retenido en él.

Tabla 8. Volumen Mínimo Del Orificio Excavado Y Cantidad De Muestra Mínima Para La Determinación De La Humedad

Tamaño máximo de partículas	Volumen mínimo del orificio		cantidad mínima de muestra para humedad
	pie ³	c.c	
2"	0,1	2800	1000
1"	0,075	2100	500
1/2"	0,05	1400	250
No.4	0,025	700	100



Figura 5. Apíque para ensayo de densidad



Figura 6. Frasco y cono de densidad



Figura 7. Arena del Guamo para densidad en el terreno

4. CAPITULO IV

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD)

4.1. ASPECTOS GENERALES

El contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o "agua libre", en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

Para muchos tipos de suelo, el contenido de agua es una de las propiedades índices más significativas, que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de dicho suelo y otras propiedades índices.

4.2. OBJETIVO

La aplicación práctica de la determinación del contenido de agua en un material, es poder conocer el peso del agua removida al secar dicho material cuando está húmedo (espécimen de prueba) hasta peso constante, en un horno controlado a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$); y usar este valor como el peso del agua en el espécimen de prueba. El peso del material remanente después de secado en el horno, corresponde al peso de las partículas sólidas.

4.3. EQUIPO

Horno controlado termostáticamente de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$), balanzas de precisión (de 0.01 g para muestras que tengan un peso de 200 g o menos); Recipientes resistentes a la corrosión y a cambios de peso debido a la temperatura; tapa de los recipientes.

4.4. PROCEDIMIENTO

- a. Antes del ensayo las muestras se deben almacenar en recipientes no corrosivos, herméticos, a una temperatura entre 3 y 30°C y en un área, en la que no tengan contacto directo con la luz solar (cuarto oscuro).
- b. Se coloca la muestra húmeda en un recipiente limpio, seco, de peso conocido (W_c); se coloca la tapa firmemente en posición, y se determina el peso del recipiente y la muestra de material usando una balanza apropiada. Se anota este valor como $W_1 = \text{peso del recipiente} + \text{la muestra húmeda}$.
- c. Se remueve la tapa y se coloca el recipiente con el material húmedo en un horno, manteniendo la temperatura a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) y se seca hasta obtener peso constante.

NOTA: En cuanto al tiempo de secado la norma establece que las muestras de arena, se pueden frecuentemente secar a un peso constante después de periodos de 4 horas, cuando se usa un horno de corriente de aire forzada.

- d. Después que el material se haya secado a peso constante, se remueve el recipiente del horno y se le coloca la tapa, permitiendo que el material y el recipiente se enfríen a temperatura ambiente. Determínese el peso del recipiente y de la muestra secada en el horno usando la balanza de

precisión. Consérvese este valor como $W2 = \text{Peso del recipiente} + \text{la muestra seca, g.}$

e. Calcúlese el contenido de agua de la muestra así:

$$w = ((W1-W2)/(W2-Wc)) \times 100 = (Ww/Ws) \times 100$$

Donde: $w = \text{Contenido de agua \%}$;

$Ww = \text{Peso del agua, g}$;

$Ws = \text{Peso de las partículas sólidas, g}$;

$W1 = \text{peso del recipiente} + \text{la muestra húmeda}$;

$W2 = \text{Peso del recipiente} + \text{la muestra seca, g}$;

$Wc = \text{Peso del recipiente, g.}$

5. CAPITULO V

LIMITES DE ATTERBERG

5.1. ASPECTOS GENERALES

Un suelo, según el contenido de agua puede comportarse como un líquido, un plástico o un sólido. Estos rangos o límites se denominan LIMITES DE CONSISTENCIA.

El suelo pasa del estado líquido por el límite líquido al estado plástico por el límite plástico al estado semisólido por el límite de retracción o encogimiento al estado sólido.

Los límites de Atterberg son muy importantes para la clasificación de los suelos. La posición del suelo en la carta de plasticidad da importantes datos relacionados con las características de plasticidad, permeabilidad, tenacidad y resistencia.

La distinción entre suelos orgánicos e inorgánicos puede hacerse realizando dos pruebas para límite líquido sobre el mismo material, una empezando con suelo secado al aire y la otra con suelo secado en la estufa. Si el límite de la muestra secada en la estufa es menor que 0.7 veces el de la muestra secada al aire, el suelo se puede clasificar como orgánico.

5.2. DEFINICIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Es la humedad en la cual al hacer una ranura en una muestra colocada en el aparato de Casagrande y darle exactamente 25 golpes, se cierran las dos partes del suelo, mínimo 12 mm longitudinalmente.

5.2.1. Equipo

- Aparato de Casagrande. Consiste esencialmente de una coca de bronce de forma y dimensiones normalizadas, montada sobre una base de material plástico, con un dispositivo mecánico que le permite un golpeo rítmico, el cual permite a su vez ajustar la altura de caída, sobre la base, a un centímetro.
- Herramienta muescadora o ranuradora.
- Tara para determinar la humedad.

5.2.2. Procedimiento para obtener el Límite Líquido.

- a. Se seca el suelo al aire, se tritura y luego se toman unos 200 gr. de la fracción de la muestra que pasa por el tamiz No 40.
- b. Esta muestra se echa en un recipiente adecuado y se le agrega agua hasta obtener una humedad menor que el Limite Líquido.
- c. Se mezcla bien el suelo y se amasa hasta que presente una consistencia de una masa espesa y suave; esta última operación se debe hacer con cuidado para que la humedad quede bien homogénea en la muestra.
- d. Método Normal: Luego de inspeccionar que el aparato de Casagrande esté correctamente ajustado, se coloca parte del suelo en la coca de bronce del mismo, llenándola aproximadamente en un tercio del total.

- e. Después se sostiene la coca con la mano y usando la espátula para mezclar y extender el material, se enrasa para obtener una superficie aislada, teniendo en cuenta que la superficie del suelo quede paralela a la base del Aparato de Casagrande, y con un espesor de 10 a 12 mm.
- f. Luego, usando la herramienta ranuradora, se divide el suelo con un trazo firme a lo largo del eje de simetría del aparato, de modo que se forme un surco claro y bien definido de dimensiones adecuadas; lo anterior se logra manteniendo el acanalador perpendicular a la superficie de la coca.
- g. La profundidad del surco debe aumentarse a cada pasada y solamente en el último trazo se debe llegar al fondo de la coca.
- h. Enseguida se comienza a girar la manivela para que el aparato golpee a razón de 2 veces por segundo aproximadamente y se cuenta el número de golpes necesarios para que las paredes del surco se unan en el fondo del mismo en una longitud aproximada de 12 mm.
- i. Luego se anota el número de golpes y se toma una pequeña muestra de suelo, representativa de la parte cerrada y de la ranura
- j. Se coloca el material en una tara y se cierra herméticamente para determinar el contenido de humedad.
- k. A la cantidad de muestra restante, se le agregan unos 2 c.c. de agua con el fin de aumentar la humedad; se mezcla bien y se repiten los pasos anteriores hasta obtener puntos por debajo y por encima de 25 golpes (mínimo 3 puntos) para así obtener la curva de flujo, que dibujada sobre el papel semilogarítmico debe dar una línea recta.
- l. Una vez obtenida la línea recta (contenido de Humedad vs. No Golpes) se interpola y se determina el valor de la humedad para 25 golpes.

5.3. DEFINICION DE LIMITE PLASTICO

Es la humedad en la cual al hacer con la muestra un cilindro o bastoncillo que al llegar exactamente a 3 mm de diámetro, se agrieta.

5.3.1. Equipo.

- Placa de vidrio esmerilado.

5.3.2. Procedimiento para obtener el Límite Plástico

- a. Se usa parte de la muestra preparada para la determinación del Limite Liquido, o bien se toma muestra fresca en las mismas condiciones.
- b. Tomando la muestra se le agrega suelo seco a agua hasta obtener una consistencia tal que el material no se adhiera a las manos y se deje trabajar, o sea hasta tener una humedad ligeramente mayor que el Limite Plástico.
- c. Luego se toma una pequeña porción de la muestra y se hace rodar con la palma de la mano sobre cualquier superficie lisa, por ejemplo un vidrio esmerilado, hasta formar unos pequeños bastoncitos o cilindritos.
- d. Se cambian constantemente de sitio para que pierdan humedad, y se cortan lo extremos del cilindro, ya que estos puntos acumulan humedad; con este proceso el cilindro se hace cada vez más rígido.
- e. Se lleva el cilindro hasta un diámetro aproximado de 3 mm; si al llegar a este diámetro el cilindro se agrieta se le determina la humedad, y esta corresponde al Limite Plástico.
- f. Se coloca inmediatamente el cilindro desmoronado o agrietado en una caja metálica, se pesa y se seca para calcular su humedad.
- g. Si al llegar al diámetro de 3 mm el cilindro no se ha agrietado, se amasa y se hace rodar.

- h. Se debe hacer el ensayo varias veces con el objeto de que exista algún modo de comprobación, y se puede obtener un promedio.

5.4. INDICE PLASTICO

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico y representa la extensión en la cual un suelo es plástico. Tiene su principal aplicación en la carta de plasticidad, que es un grafico de IP vs. LL y que sirve para clasificar los suelos.

6. CAPITULO VI

ANÁLISIS GRANULOMETRICO

6.1. OBJETIVO

Determinar el porcentaje en peso de los diferentes tamaños de los granos de suelo y con estos datos construir su “*curva granulométrica*”.

6.2. TEORIA

Para suelos gruesos-granulares, el análisis se hace por medio de un juego de mallas, de las cuales la más fina es la No 200 (agujeros de 0.074 mm). Para suelos de menor tamaño, se exigen otros métodos de investigación, tales como el método del hidrómetro (densímetro).

Dado que las características de los suelos de la región geológica del área local de Valledupar corresponden al tipo grueso-granulares, el método empleado para determinar su gradación se basó en el método por mallas o análisis mecánico.

6.3. ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR MALLAS O ANÁLISIS MECANICO.

6.3.1. Equipo

- Juego de mallas o tamices
- Cápsulas de porcelana o recipientes metálicos.
- Balanzas de sensibilidad de 0.1 gr. y con una capacidad de hasta 2600 gr.
- Estufa

- Balanza con una sensibilidad de 0.01 gr y con una capacidad de hasta 310 gr.
- Cepillo de alambre y brocha.

6.3.2. Procedimiento del ensayo

- a. Selecciónese la muestra lo más representativa posible, mediante un cuarteo, dejándose secar dicha muestra en la estufa durante un periodo de tiempo entre 12 y 18 horas a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- b. Una vez secada la muestra se pesan 500 gr. para el caso de una arena o de 2 a 3 Kg. en el caso de un cascajo.
- c. La muestra se coloca sobre el tamiz No. 200 y se procede a lavarla cuidadosamente a través de él, utilizando para ello agua común, hasta que esta salga totalmente limpia, es necesario ser muy cuidadoso en este proceso para evitar daños en el tamiz y la pérdida de suelo que eventualmente salpica fuera de él.
- d. Verter cuidadosamente el material con ayuda de agua en una cápsula de porcelana o recipiente similar para ser llevada posteriormente a la estufa y obtener de esta forma su secado de acuerdo a las normas. Una vez seca la muestra se pesa el conjunto; recipiente y suelo seco, cuyo peso deducido, corresponde al peso original de la muestra.
- e. La muestra anterior se hace pasar por una serie de tamices o mallas, de acuerdo al tamaño de las partículas observables a simple vista.
- f. La serie de mallas se colocan en orden progresivo, vaciándose la muestra sobre la primera, la cual se tapa herméticamente, procediendo luego a agitar el juego de mallas manualmente o por medio de un agitador mecánico (Ro-Tap), durante un tiempo no inferior a 15 minutos.
- g. Se retira luego la serie de mallas y se vacía la porción retenida en cada malla sobre un papel limpio.

- h. A las partículas que se detienen entre los hilos de la malla no hay que forzarlos a pasar a través de ella; inviértase esta y con ayuda de una brocha o un cepillo de alambre despréndase las partículas, agregándolas a las depositadas en el papel.
- i. Para cada malla se obtiene el peso correspondiente de la porción retenida en él; la suma de dichos pesos se compara con el peso original de la muestra. Esta operación permite detectar cualquier pérdida de suelo durante el proceso de tamizado; si se tiene una pérdida de más del 1% con respecto al peso original, se considera que el experimento no es satisfactorio y por consiguiente debe repetirse.
- j. Para efectos de este proyecto se trabajó el sistema U.S. con la siguiente combinación de mallas:

Tabla 9. Sistema U.S. Standard Para Numeración De Mallas

TAMIZ	ABERTURA m.m.
2 1/2"	63.5
2"	50.8
1 1/2 "	38.1
1"	25.4
3/4"	19.1
1/2"	12.7
3/8"	9.52
No.4	4.76
No. 10	2.00
No. 40	0.420
No. 200	0.074

6.4. CLASIFICACION DE LOS SUELOS.

6.4.1. Sistema Unificado (U.S.C.).

Arthur Casagrande ideó una clasificación de los suelos para carreteras y aeropuertos; la que posteriormente al ser modificada condujo al sistema unificado de clasificación de los suelos. Según este sistema, los suelos se dividen en tres grupos principales: de grano grueso, de grano fino, y altamente orgánicos (suelos-turbas).

Sobre la curva granulométrica se han definido dos coeficientes que determinan la gradación de un suelo, por gradación se entiende la proporción en que entran los distintos tamaños de granos presentes en un suelo dado.

$$\text{EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu): } Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde D_{60} es el diámetro de las partículas para la cual existe un 60% de partículas más finas que ellas; D_{10} es el diámetro correspondiente al 10% de las partículas con diámetro menor que él (D_{10}).

$$\text{EL COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc): } Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Donde D_{30} , D_{60} , D_{10} tienen el mismo significado que en el caso anterior y se determinan sobre la curva granulométrica.

Los criterios para determinar si un suelo es bien o mal gradado, se obtienen una vez calculados Cu y Cc y se deben verificar simultáneamente; por ejemplo, para el caso de las arenas bien gradadas se debe cumplir que: $[Cu > 6 \text{ y } 1 < Cc < 3]$; En el caso de ser una grava se deben satisfacer simultáneamente: $[Cu > 4 \text{ y } 1 < Cc < 3]$. Teniendo en cuenta los criterios de plasticidad y uniformidad, las clasificaciones serían las siguientes:

GRAVAS (G)

GW: Gravas con poco o nada de finos, bien gradado.

GP: Gravas con poco o nada de finos, mal gradado.

GM: Gravas con porcentaje apreciable de finos, gravas limosas.

GC: Gravas con porcentaje apreciable de finos, gravas arcillosas.

ARENAS (S)

SW: Con poco o nada de finos, bien gradada.

SP: Con poco o nada de finos, mal gradado.

SM: Con porcentaje apreciable de finos, Arenas limosas.

SC: Con porcentaje apreciable de finos, Arenas arcillosas.

LIMOS (M) Y ARCILLAS (C)

ML: Limos de baja compresibilidad

CL: Arcillas de baja plasticidad

OL: Limos y arcillas orgánicas de baja compresibilidad o plasticidad.

MH: Limos de alta compresibilidad

CH: Arcillas de alta plasticidad

OH: Limos y arcillas orgánicas de alta compresibilidad o plasticidad

Pt: Suelos altamente orgánicos.

6.4.2. Clasificación de la A.A.S.H.T.O.

Esta clasificación determina que según el comportamiento en el terreno los suelos se dividen en 7 grupos: A-1, A-3, A-2, A-4, A-5, A-6, A-7 y en subgrupos. El índice de grupo es un valor calculado por medio de una fórmula empírica el cual es complemento de la clasificación y se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$IG = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd, \quad \text{en donde:}$$

a = Porcentaje que pasa por la malla No. 200, >35 ; Numero entero positivo comprendido entre 0 y 40;

b = %ídem entre 15 y 55.;

c = Exceso del LL por encima de 40, > 60 ; numero entero positivo comprendido entre 0 y 20.;

d = Exceso del IP por encima de 10, >30 ; numero entero positivo comprendido entre 0 y 20.

Tabla 10. Clasificaciones de suelos y mezclas de suelo agregado (AASHTO)

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos que pasa tamiz No 200)			MATERIALES LIMO ARCILLOSOS (más del 35% que pasa tamiz No 200)			
	A-1	A-3	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificaciones por grupos							
Análisis Granulométrico							
Porcentajes que pasan:							
Tamiz No 10							
Tamiz No 40	50 máx.	51 mín.					
Tamiz No 200	25 máx.	10 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa tamiz No 40							
Limite Liquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	N.P.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Comportamiento General de la sub. - rasante	Excelentes a buenos			Regulares a malos			

7. CAPITULO VII

INDICE DE CORRELACION ENTRE VARIABLES CUANTITATIVAS

7.1. DEFINICION DE RELACION ENTRE VARIABLES

Se considera que dos variables cuantitativas están relacionadas entre sí cuando los valores de una de ellas varían de forma sistemática con respecto a los valores homónimos de la otra; en otras palabras, si tenemos dos variables, A y B , existe relación entre ellas si al aumentar los valores de A también lo hacen los de B , o por el contrario si al aumentar los valores de A disminuyen los de B . Si ponemos en relación las dos variables A y B , compuestas por los valores representados de la tabla azul, obtenemos el siguiente gráfico:

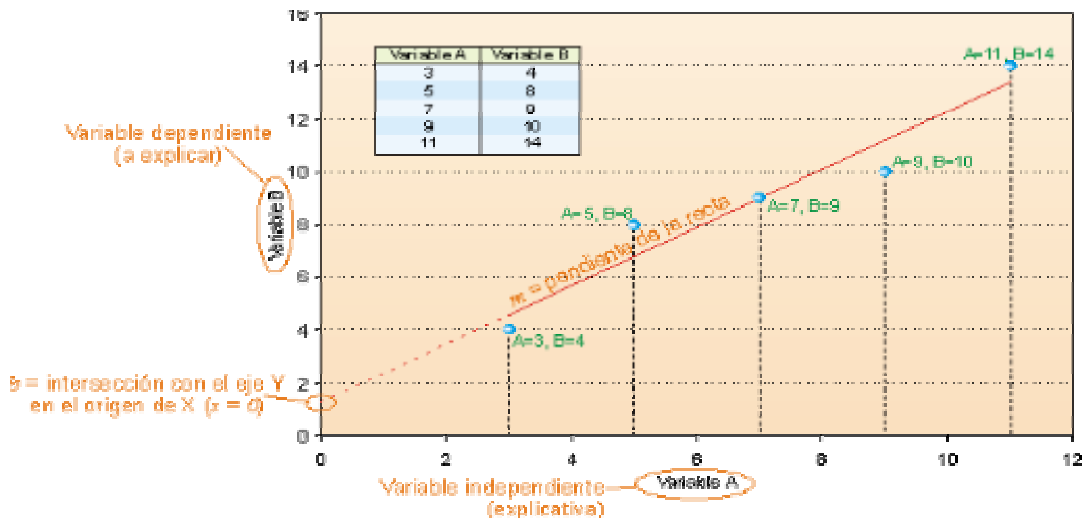


Figura 8. Definición de Relación entre variables.

Un gráfico de dispersión como el mostrado arriba es la forma más sencilla de comprobar la relación entre las dos variables. En él se ha

graficado también la tendencia de la distribución, plasmada como una recta que trata de ajustarse a los puntos del gráfico.

7.2. COMPONENTES ELEMENTALES DE RELACION ENTRE VARIABLES

La relación entre dos variables cuantitativas queda representada mediante la línea de mejor ajuste, que es la que esquematiza las condiciones de la nube de puntos y de la relación. Los componentes elementales de una línea de ajuste y por extensión de una relación entre dos variables son:

- La Fuerza.
- El Sentido.
- La Forma

7.2.1. La Fuerza

Mide el grado en que la línea representa a la nube de puntos. Si la nube es estrecha y alargada una línea recta representará adecuadamente a la nube de puntos y a la relación y por tanto ésta será *fuerte*. Si por el contrario, la nube de puntos tiene una tendencia elíptica o circular, una línea recta que trate de representar a la misma será consecuencia de una relación *débil* y poco representativa, con amplios residuos.

7.2.2. El Sentido

El sentido de la relación se refiere a cómo varían los valores de B con respecto a A . Si al crecer los valores de la variable A lo hacen los de B , será una *relación positiva* (a valores bajos de A le corresponden valores bajos de

B). Si al aumentar *A*, disminuye *B*, será una *relación negativa* (a valores bajos de *A* le corresponden valores altos de *B* y viceversa).

7.2.3. La Forma

Establece el tipo de línea a emplear para definir el mejor ajuste. Se pueden emplear tres tipos de líneas: una línea recta, una curva monotónica y una curva no monotónica.

En el caso de usar una **recta**, se admite que existe una proporción entre la diferencia entre dos valores *A* y la diferencia entre dos valores de *B*. A ese factor de ajuste entre ambas series se le llama *pendiente de la recta*, y se asume que es constante a lo largo de toda la recta de ajuste.

En el caso de usar una **curva monotónica**, ese factor de proporción entre las dos variables no es constante a lo largo de toda la recta, y por lo tanto la pendiente de la misma es variable en su recorrido. Se dice entonces que la línea de ajuste es *no lineal monotónica*, puesto que la línea se ha convertido en curva. Sin embargo, lo que no varía es el sentido de la relación: si la relación es positiva lo será a lo largo de todo el recorrido de la curva y si es negativa, será negativa en toda la curva.

Por último, en el caso de usar una **curva no monotónica** varía tanto la pendiente de la curva como el sentido de la relación, que en unos sectores puede ser positiva (ascendente) y en otros sectores negativa (descendentes).

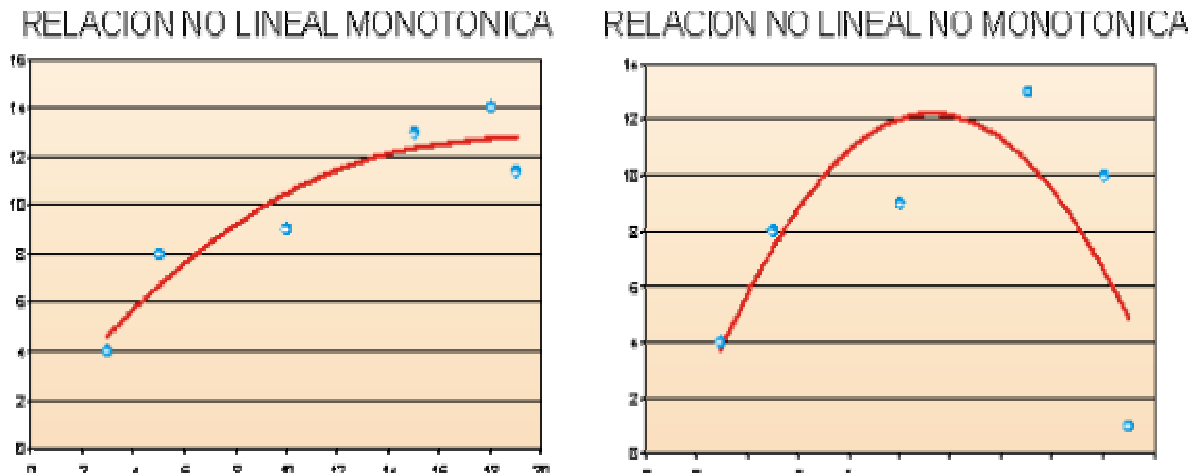


Figura 9. Relaciones No lineales Monotónica y no monotónica.

7.3. CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE AJUSTE Y SUS ECUACIONES.

El primer paso para la obtención de la línea de ajuste es escoger el método de representación, que puede ser alguno de los siguientes:

TIPOS DE REPRESENTACION DE LA LÍNEA DE AJUSTE:

- Lineal
 - Línea recta $\rightarrow y = mx + b$
donde m es la pendiente y b es la intersección
- No Lineal
 - Polinómica $\rightarrow y = b + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + \dots$
donde b y c_1, \dots, c_n son constantes
 - Logarítmica $\rightarrow y = c \ln x + b$
donde c y b son constantes y \ln es la función del logaritmo neperiano
 - Exponencial $\rightarrow y = ce^{bx}$
donde c y b son constantes y e es la función del logaritmo neperiano
 - Potencial $\rightarrow y = cx^b$
donde c y b son constantes

Figura 10. Tipos de representación de la línea de ajuste

7.3.1. Ecuación de regresión lineal simple

Es aquella recta en la que las diferencias elevadas al cuadrado entre los valores calculados por la ecuación de la recta y los valores reales de la serie, son las menores posibles. La ecuación general de la recta tiene la forma: $y = mx + b$

Con esta sencilla ecuación podemos calcular para cualquier punto de una recta, el valor que tomaría Y a partir del conocimiento de su valor X , de la pendiente de la recta (m) y del punto de corte sobre las ordenadas (b). El cálculo de la pendiente m se obtiene poniendo en relación el incremento de las X con el incremento de las Y , para una distancia dada, de la forma:

$$m = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

El parámetro b es el valor que adquiere el punto de corte de la recta representada con el eje cartesiano de las Y (ordenada). Dicho de otra forma, b es el valor de Y para $X = 0$, que se puede deducir con la ecuación general si conocemos la pendiente de la recta. Para series de puntos no alineados sobre las que buscamos la recta que mejor se ajuste a su distribución, el cálculo de m y de b se realiza de la siguiente manera:

$$m = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}} \quad b = \bar{y} - m \cdot \bar{x}$$

Donde \bar{x} e \bar{y} son las medias de x e y respectivamente. Son datos conocidos pues proceden de los puntos de muestreo graficados a partir de las series de datos.

En realidad, calculando el parámetro m , ya podemos aplicar la ecuación general de la recta; en primer lugar para $x = 0$, con lo que

obtenemos b , y en segundo lugar para otro punto x que queramos. Con ello obtendremos los valores de y correspondientes, pudiendo en consecuencia dibujar dos puntos sobre el gráfico que, unidos, darán lugar a la recta de tendencia.

El problema de la línea de mínimos cuadrados y de las regresiones lineales simples es que no son resistentes a valores extremos en las series, que pudieran ser anomalías en los datos. Este método, por tanto, puede ser engañoso si se dispone de muy pocos datos y valores extremos en los mismos.

7.3.2. Ecuación de Regresión Lineal Múltiple

Así como existen rectas de regresión de mínimos cuadrados que aproximan a un conjunto de N puntos dato (y, x) en un diagrama de dispersión, existen también planos de regresión de mínimos cuadrados que ajustan un conjunto de N puntos dato (y, x_1, x_2) en un diagrama de dispersión tridimensional.

El plano de regresión de mínimos cuadrados de y sobre x_1 y x_2 tiene ecuación de la forma:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

Donde a_0 , a_1 y a_2 son las constantes de la ecuación multilineal que se determinan resolviendo simultáneamente las ecuaciones normales:

$$\begin{aligned} \sum y &= a_0 N & + & a_1 \sum x_1 & + & a_2 \sum x_2 \\ \sum x_1 &= a_0 \sum x_1 & + & a_1 \sum (x_1)^2 & + & a_2 \sum (x_1 x_2) \\ \sum x_2 &= a_0 \sum x_2 & + & a_1 \sum (x_1 x_2) & + & a_2 \sum (x_2)^2 \end{aligned}$$

7.4. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON.

El Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson es un índice estadístico que permite definir de forma más concisa la relación entre dos variables. Su resultado es un valor que fluctúa entre -1 (correlación perfecta de sentido negativo) y +1 (correlación perfecta de sentido positivo). Cuanto más cercanos al 0 sean los valores, indican una mayor debilidad de la relación o incluso ausencia de correlación entre las dos variables. Su cálculo se basa en la expresión:

$$r = \frac{C(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Covarianza de las dos variables.
Producto de las desviaciones típicas de las dos variables.

O lo que es lo mismo: el coeficiente de correlación lineal de Pearson se calcula a partir de la covarianza de las dos series, dividido por el producto de las desviaciones típicas de las dos series, es decir:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_i [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Normalmente se utiliza la desviación típica “verdadera” y no la muestral: obsérvese que la sumatoria de los residuos al cuadrado se multiplica por 1/n y no por 1/(n-1). La interpretación del índice de Pearson es la siguiente:

- r = 1 indica que la correlación es positiva.
- r = 0 indica la inexistencia de correlación.
- r = -1 indica que la correlación es negativa.

El coeficiente de correlación lineal también puede determinarse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$r^2 = \frac{\sum (Y_i - Y_p)^2 - \sum (Y_i - Y_{ci})^2}{\sum (Y_i - Y_p)^2} = \frac{St^2 - Sr^2}{St^2}$$

Donde:

Y_i Son los valores reales obtenidos en campo

Y_{ci} Son los valores obtenidos por medio de la ecuación de regresión

$$Y_p = \frac{\sum Y_i}{n}$$

7.5. ERROR CUADRÁTICO MEDIO

Para poder comparar objetivamente la calidad de los datos obtenidos en campo con los generados en la ecuación de regresión de se necesita calcular el error medio, EM, de las desviaciones entre aquellos y este último. Sin embargo, dado que el error medio puede entregar un valor distorsionado al anularse entre sí diferencias negativas y positivas, se prefiere el uso del **error cuadrático medio** o MSE, que no se ve afectado por los signos de las diferencias.

El error medio, EM y el error cuadrático medio, MSE, se calculan de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$ECM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum e_i^2} \quad EM = \frac{1}{n} \sum e_i \quad \text{Donde : } e_i = Y_{campo} - Y_{regresion}$$

8. CAPITULO VIII

ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO

El proyecto se dividió en 5 fases:

1. Documentación
2. Identificación y Selección de los sitios de ensayos
3. Programa de Pruebas y Recolección de datos
4. Análisis de Resultados
5. Conclusiones.

8.1. DOCUMENTACION

La etapa de documentación consistió en un periodo de investigación por medio del cual se recolectó toda la información existente para desarrollar el marco teórico y el estado del arte de los ensayos involucrados en las correlaciones entre el DCP y el CBR in situ y analizar aquellas investigaciones desarrolladas para este fin.

Esta sección presenta una revisión de todos los dispositivos de prueba que se usaron en este estudio.

8.2. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE ENSAYOS

La identificación y selección de los sitios de ensayo consistió en una etapa de exploración superficial y otra etapa de exploración subsuperficial.

8.2.1. Exploración Superficial

La exploración superficial de los suelos consistió en realizar visitas de reconocimiento a 20 sitios, de los cuales al final se escogieron 10. Esta exploración superficial tuvo como objetivo la localización de los sitios en los cuales se realizarían los grupos de pruebas. La selección previa de estos lugares se hizo teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ❖ La camioneta Ford 350 tipo estaca, acondicionada para realizar los ensayos de CBR in situ debía tener fácil acceso al sitio de ensayo.
- ❖ Era necesario ubicar puntos dentro del área urbana (local) de la ciudad de Valledupar. La ruta se elaboró teniendo en cuenta los sitios estratégicos en los cuales se guardaba la camioneta (Fábrica, Simón Bolívar y V. Castro) para poder continuar actividades en los días siguientes.
- ❖ El sitio escogido para realizar el grupo de pruebas no tendría que haber sido alterado por actividades de construcción por lo menos durante los últimos dos años.
- ❖ El suelo no debía estar alterado por capas de rellenos.

De los 20 sitios visitados finalmente fueron escogidos 10 sitios en los cuales se realizaron 20 grupos de pruebas:

Tabla 11. Localización de los puntos donde se realizaron los grupos de ensayos

LOCALIZACION	No grupos de pruebas
Fábrica de Postes Concretos Lacera.....	3
Vía alterna (proyectada) al Terminal de Transportes.....	5
Vía hacia el barrio Panamá.....	2
Vía hacia el barrio Los Mayales.....	2
Parque del Anexo Colegio Nal Loperena (seccional V. Rosario).....	1
Vía frente al Colegio de la Policía (Ntra Sra de Fátima).....	1
Frente a la residencia de la Cra 13 con Calle 23 (Barrio Simón Bolívar)....	1
Garaje de la residencia de la Cra 3 con Calle 20E (V. Castro).....	1
Laboratorios de la Empresa AltaIngcivil (Los Campanos).....	2
Parque de la Leyenda Vallenata.....	2
TOTAL	20

Figura 11. Plano de la ciudad de Valledupar con la ubicación de los puntos donde se realizaron los grupos de pruebas.



8.2.2. Exploración Subsuperficial.

La exploración subsuperficial incluyó ensayos de Cono Dinámico de Penetración (DCP) en los sitios previamente seleccionados y un análisis general de las capas subsuperficiales por medio de estudios estratigráficos ya existentes en el área local de la ciudad de Valledupar suministrados por el Laboratorio de suelos AltaIngeniería Civil.

La realización previa del ensayo de DCP y el análisis de la información estratigráfica tuvieron como finalidad general:

- ❖ Identificar el nivel de profundidad de la subrasante para la realización de los ensayos de DCP y CBR.
- ❖ Identificar la distribución subsuperficial de los materiales y las capas existentes en la región local de la ciudad de Valledupar.
- ❖ Determinar la profundidad máxima de lectura con el DCP dependiendo del espesor de la capa homogénea encontrada.

La realización del ensayo de Cono Dinámico de Penetración en los 20 sitios visitados arrojó información muy valiosa acerca del espesor del suelo hasta los 600 mm, en donde se hallaron dos capas homogéneas con diferentes índices de penetración: una capa hasta los 300 mm y otra a partir de los 300 mm en adelante; razón por la cual se escogió la profundidad representativa para realizar este proyecto con el DCP hasta los 300 mm.

El análisis de los estudios estratigráficos ya existentes permitió identificar el nivel de profundidad de la subrasante por debajo de la capa vegetal (10 - 15 cm). De esta forma se determinó la realización de apiques de 10 a 15 cm para la realización de los grupos de ensayos (CBR y DCP).

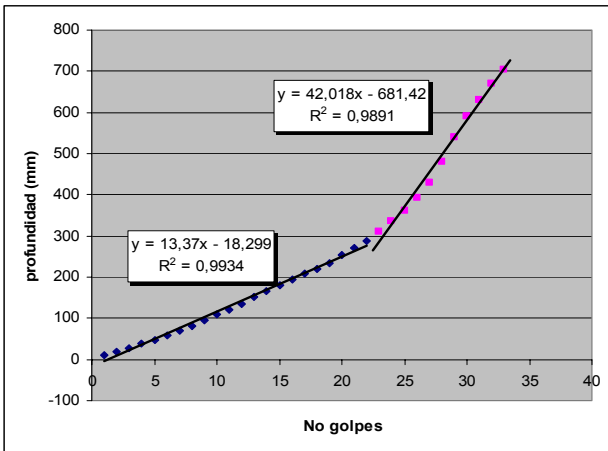


Figura 12. Cambio del Índice de Penetración a los 300 mm (V. Castro).

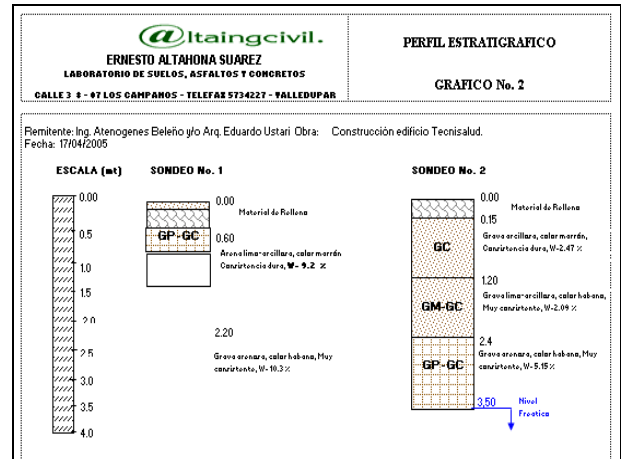


Figura 13. Perfil estratigráfico suministrado por Lab. AltaIngcivil

8.3. PROGRAMA DE PRUEBAS Y RECOLECCION DE DATOS

El programa de pruebas incluye la recolección, toma de muestras, pruebas de campo y de laboratorio. Las pruebas de campo (Ensayo de densidad de cono y de arena, CBR in situ y DCP) se dirigieron en las secciones de carretera seleccionadas. Las pruebas de Laboratorio (Granulometría, humedad, límites) fueron realizadas en las instalaciones de los Laboratorios de Ingeniería AltaIngcivil en la ciudad de Valledupar.

Las muestras de suelo eran guardadas en una bolsa para ser llevadas luego al laboratorio y calcularles su humedad, granulometría, límites de Atterberg y clasificación.

El orden de pruebas en cada punto fue determinado por la capacidad destructora de cada dispositivo. El DCP y la densidad de cono de arena crean un agujero en cada punto. El programa de comprobación en cada punto fue diseñado para empezar con las medidas de densidad de cono de arena, seguido por la prueba de CBR in situ y por ultimo la prueba de DCP.

8.3.1. Ensayo De Densidad De Cono Y De Arena

Para relacionar los resultados de DCP con densidad del campo y contenido de humedad, se realizó una prueba de densidad de cono de arena de 10 cm a 15 cm del sitio donde se dirigió la prueba de CBR y DCP.



Figura 14. Equipo de Densidad de Cono de Arena

El empleo del cono de arena se trabajó en cada punto para las partículas no mayores de 50 mm (2") de diámetro empleando un tamiz de 2". La arena empleada tenía una densidad de 1.44 gr/cm³ y la constante del cono fue de 1384.5 gr.

El ensayo de densidad de cono de arena se realizó tal como se describe en el aparte 3.2.3.3., de acuerdo al INV E-161, procurando hacer siempre apiques de 10 a 15 cm de profundidad.

8.3.1.1. Resultados de los Ensayos de Densidad

Tabla 12. Ejemplo típico para el cálculo de la densidad Seca

Peso frasco +cono+arena inicial	grs		5485
Peso frasco +cono+arena final	grs		2748
Peso total arena usada	grs	$5485 - 2748 =$	2737
Constante del cono	grs		1384,5
Peso arena en el hueco	grs	$2737 - 1384.5 =$	1352,5
Densidad de la arena	grs/cm ³		1,44
Volumen del hueco	cm ³	$1352.5 / 1.44 =$	939,2
Peso del material extraído húmedo	grs		1580
Humedad	%		12,92
Peso material extraído seco	grs	$1580 / (1 + 12.92\%) =$	1399,2
Densidad seca	grs/cm ³	$1399.2 / 939.2 =$	1,49
Densidad seca	lbs/pie ³	$1.49 * 62.4 =$	92,96

Tabla 13. Resultados de los ensayos de densidad

No	Muestra	Densidad Seca gr/cm ³
1	Altaho 1	1.79
2	Altaho 2	1.81
3	Fabrica1	1.64
4	Fabrica2	1.69
5	Fabrica3	1.61
6	casa	1.34
7	cra4-30	1.49
8	Policía	1.32
9	Mya1	1.48
10	Mya2	1.49
11	pana1	1.54
12	pana2	1.54
13	simón	1.63
14	terminal 1	1.62
15	terminal 2	1.59
16	terminal 3	1.66
17	terminal 4	1.61
18	terminal 5	1.62
19	parque1	1.70
20	parque2	1.81

8.3.2. Ensayo De CBR In Situ

Una vez finalizado el ensayo de densidad de cono de arena, se procedió a la aplicación del ensayo de CBR in situ. Se escogió realizar ensayos de CBR in situ por las características de los suelos de la región (del tipo areno limoso no cohesivo). Se procuró durante la fase de identificación y selección de los sitios de ensayos escoger puntos donde el suelo no haya sido modificado por actividades de construcción durante los dos últimos años anteriores al ensayo como puede apreciarse en la imagen:



Figura 15. Barrio Panamá: Suelo no modificado por actividades de construcción durante los dos últimos años anteriores al ensayo

El vehículo de reacción necesario para realizar el ensayo de CBR in situ consistió en una camioneta Ford 350 tipo estaca la cual fue acondicionada con una viga metálica en la parte posterior del chasis y en donde se le instaló un gato mecánico de velocidad media: (5 Rev. = 0.04 pulg.), para permitir la penetración del pistón en el suelo.



Figura 16. Gato mecánico de velocidad media

Al vehículo de reacción se le cargaron 4 bloques de concreto armado de dimensiones de 1 x 1 x 0.35 metros (800 Kg. de peso cada uno teniendo en cuenta la densidad del concreto armado de 2300 kg/m^3), colocados sobre la línea de acción de la viga metálica acondicionada en la parte posterior del chasis, sumando en total 3.2 toneladas, suficientes para cumplir lo requerido por el INV E-169- 4.8.



Figura 17. Camioneta Ford 350 tipo estaca acondicionada



Figura 18. Bloques de concreto de 1 x 1 x 0.35 m.



Figura 19. Bloques de 800 kg de peso cada uno

El vehículo de reacción se colocó en un sitio de prueba a 100 -150 mm (4" a 6") del punto de realización del ensayo de cono de arena, tal como lo describe el INV E-169 - 5.11.

El vehículo se suspendió por medio de los dos gatos colocados a ambos lados de la camioneta con el fin de eliminar la influencia de los

resortes traseros y permitir que el ensayo de penetración se efectúe sin movimiento ascendente del chasis del vehículo. (INV E-169- 4.8).

Para cada prueba se midió la altura libre antes y después de realizar el ensayo para verificar que no había movimiento relativo; de modo que el pistón penetraba completamente sin levantar el vehículo y los muelles no trabajaban ya que están suspendidos completamente.



Figura 20. Estado de los muelles antes de levantar la camioneta



Figura 21. Estado de los muelles después levantar la camioneta

Se trabajó un solo anillo de carga debidamente calibrado de amplitud de carga de 0 a 22.6 kN (5070 lb.) aproximadamente. La constante de este

anillo de carga fue de 5.64 (para obtener los valores en lb.) (Recuerde dividir por 3 para obtener los valores en lb/pg²).

De los dos pistones, uno de 4 pulgadas (10 cm.) de longitud y otro de 8 pulgadas (20 cm.), se trabajó con el de 8 pulgadas (20 cm.), de longitud porque permitía acomodar el dial de penetración ya que con el de 4 pulgadas (10 cm.) no era posible conectarlo.



Figura 22. Pistón de 10 pulgadas de longitud

Además el pistón de 8 pulgadas (20 cm.), permitió trabajar con apiques de 10 a 15 cm. en el suelo, con el fin de remover la capa vegetal y realizar los ensayos sobre la subrasante la cual estaba a esa profundidad.

Los diales, los soportes y las platinas de sobrecarga fueron de acuerdo a las especificadas por el INV E-169- 4. El celular que aparece en la foto es el cronometro para asegurar la velocidad de penetración de 0.5"/min., durante el ensayo.

En cada punto se realizó un ensayo de CBR in situ. Los ensayos de CBR in situ se tomaron en el mismo lugar donde se realizaron las penetraciones con el DCP con el fin de trabajar en las mismas condiciones

del suelo. En dicho lugar se hacía un apíque de 10 a 15 cm con el fin de trabajar sobre el nivel de la subrasante.



Figura 23. Apíque para el ensayo de CBR in situ a 15 cm del punto de realización del ensayo de cono de arena



Figura 24. Montaje para el ensayo de CBR in situ: Cronometro, diales, anillo pistón y pesas de sobrecarga.

8.3.2.1. Resultados CBR in situ

En la Tabla 14 se presentan los resultados de carga con el equipo de CBR in situ sobre una muestra de suelo y su gráfica respectiva de penetración contra carga en Psi. Y en la tabla 15 se presentan los resultados generales de la prueba CBR insitu de los 20 sitios seleccionados.

PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi
0,005	16	90	30
0,025	28	158	53
0,050	34	192	64
0,075	45	254	85
0,100	53	299	100
0,150	76	429	143
0,200	82	462	154
0,250	95	536	179
0,300	106	598	199
0,400	112	632	211
0,500	118	666	222
HUMEDAD PENETRACION %	12,92		
C. B. R. CORREG. a 0,1"	9,96		
C. B. R. CORREG. a 0,2"	10,28		

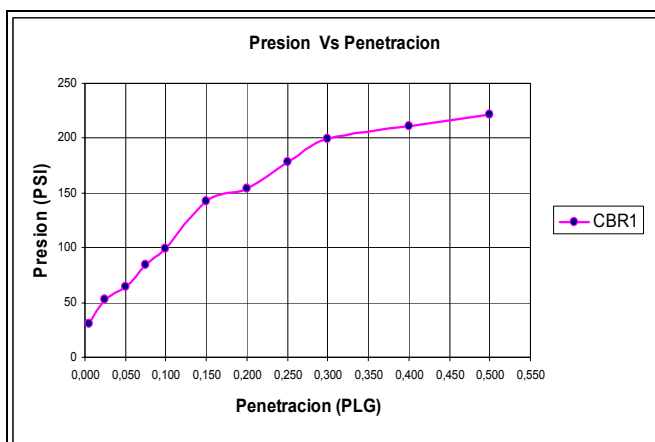


Tabla 14. Tabla diseño curva esfuerzo – penetración CBR

No	Muestra	CBR In situ %
1	Altaho 1	21,43
2	Altaho 2	31,02
3	Fabrica1	43,05
4	Fabrica2	53,58
5	Fabrica3	18,17
6	casa	3,76
7	cra4-30	6,02
8	Policia	10,28
9	Mya1	3,95
10	Mya2	5,01
11	pana1	21,24
12	pana2	21,06
13	simón	28,20
14	terminal 1	20,49
15	terminal 2	20,68
16	terminal 3	25,69
17	terminal 4	14,54
18	terminal 5	15,79
19	parque1	11,28
20	parque2	50,01

Tabla 15. Resultados de la prueba de CBR in situ

8.3.3. Ensayo De Penetración De Cono Dinámico (DCP)



Figura 25. Ensayo de Cono Dinámico de Penetración

Dentro del grupo de ensayos, el tercer dispositivo utilizado en el punto escogido fue el Cono Dinámico de Penetración (DCP). El capítulo I de este proyecto presenta una descripción de la prueba de DCP.

8.3.3.1. Orden e instante del ensayo

El ensayo de Cono Dinámico de Penetración (DCP) se hace inmediatamente después de haber hecho el de CBR in situ, ya que si se hacen por separado (por ejemplo: el de CBR hoy y el de DCP mañana), cualquier cambio de humedad puede alterar la colinealidad de los datos conduciendo a datos erróneos. Este factor se pudo comprobar, haciendo ensayos de DCP por separado de los de CBR y comparándolos con aquellos hechos inmediatamente después del ensayo de CBR, generando datos muy variables.

8.3.3.2. Sitio de auscultación:

En un principio se ensayó el DCP en puntos distantes alrededor del apíque de CBR (10 a 20 cm alrededor) pero los datos presentaban valores de dispersión muy alto. Así que se decidió hacer un solo ensayo de DCP dentro del apíque del CBR.



Figura 26. Ensayo de DCP dentro del apíque del CBR

8.3.3.3. Numero de Ensayos de DCP por sitio

En un principio se empezó haciendo 3 ensayos de DCP, lo cual obligaba a hacer dos ensayos mas fuera del apíque en un radio de 1m, pero los datos hallados presentaban mucha variabilidad con respecto a los del apíque, salvo en contadas ocasiones, lo que obligaba entonces a hacer 4 y hasta 5 repeticiones de penetración por sitio para promediar, alterando demasiado el valor hallado en el apíque el cual se consideraba representativo. Al final se resolvió considerar solamente el ensayo de DCP hecho dentro del apíque, el cual corresponde al valor representativo del CBR para evitar la variación del Índice de penetración.

8.3.3.4. Profundidad de auscultación:

Para cada sitio se realizó una prueba de penetrómetro dinámico de cono hasta profundidades del orden de los 300 mm. Se escogió esta medida debido a la relativa homogeneidad de los suelos encontrados hasta este nivel, teniéndose un mayor control en la ejecución de las pruebas.

Antes de la realización del grupo de pruebas se hicieron sondeos en los sitios seleccionados hasta la profundidad de 600 mm y se notó que la gran mayoría de los casos el Índice de Penetración cambiaba más o menos a los 300 mm.

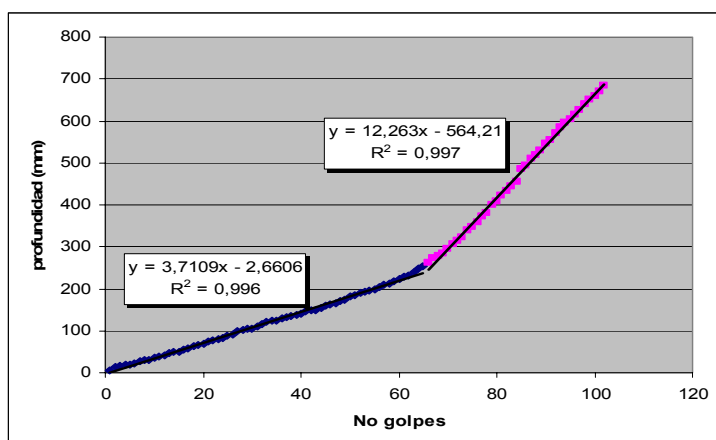


Figura 27. Cambio del Índice de Penetración a los 300 mm.
Fabr. Apíq1:

Además, para poder correlacionar los índices de penetración para profundidades superiores a los 300 mm, se necesitaba una extensión de CBR de por lo menos 300 mm, la cual no estaba disponible.

8.3.3.5. Tratamiento de los datos

En la Tabla 16 se observa la medición de la penetración contra el número de golpes suministrados por el DCP para un sitio de prueba específico.

Tabla 16. Tabla para el cálculo del Índice de penetración.

SUBGRADE DCP Test Fabrica (ensayo 3) Apíque 3	
#de golpes	Prof (mm)
0	0
1	35
2	43
3	52
4	57
5	61
6	70
7	77
8	89
9	99
10	101
11	113
12	118
13	128
14	135
15	142
16	148
17	153
18	160
19	167
20	175
21	180
22	186
23	192
24	195
25	202
26	203
27	210

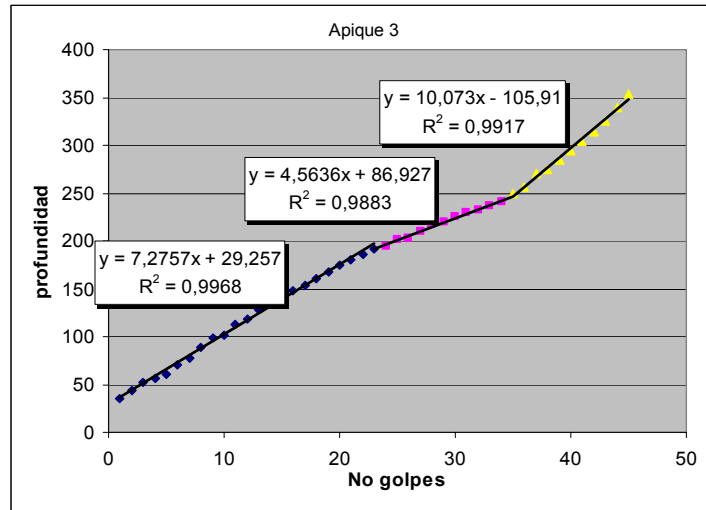


Figura 28. Relación entre Profundidad y No. de golpes.
Ensayo DCP

La figura 28 representa el progreso de la penetración a través del suelo en profundidad. En ésta gráfica se visualiza una sola repetición del ensayo DCP. En él se puede analizar la relativa uniformidad del estrato, a partir de las *pendientes* que generan los puntos. La *Pendiente* corresponde al índice de penetración (PI), el cual puede ser calculado gráficamente para cada tendencia lineal de puntos ó por medio de programas de cómputo como el

PDC (del INPACO) ó en Excel. En las ordenadas se indica la profundidad (máximo hasta 350 mm) y en las abscisas el número acumulado de golpes para alcanzar dichas profundidades.

Una variación en la pendiente de la recta puede indicar un cambio de estrato, un cambio en las propiedades del material ó la presencia de una piedra dentro de la masa de suelo, en cuyo caso se debe analizar cuidadosamente la gráfica y en ciertos casos rechazar la medición en este sitio.

Luego de obtener la curva DCP se analiza las variaciones que pueda tener. Si el material es uniforme, la pendiente será constante. Pero si hay una variación en el volumen de humedad, en la densidad, ó en el estrato de suelo, el PI cambiará. Por lo cual, para efectos de la investigación, se hizo necesario realizar un pequeño apíque o auscultación del suelo hasta los 10 o 15 cm, para trabajar con el estrato hasta la profundidad de penetración. La relación existente entre el PI y la resistencia del suelo es inversa. A medida que el PI aumenta, la resistencia del suelo disminuye.

En la figura 28, se observa un PI de 7.2757 (mm/golpe) hasta los 192 mm de profundidad, un PI de 4,5636 hasta los 241 mm, y un PI de 10,073 hasta los 353 mm. Este cambio del PI puede indicar una variación en el contenido de humedad.

Para efectos de unificar y simplificar la obtención del PI en el punto de ensayo, se tomó el PI hasta los 192 mm de profundidad, como el representativo de la capa homogénea.

No INDICE	INDICE	Prof. hasta los (mm)
1	7,2757	192
2	4,5636	241
3	10,073	353

Un problema que surgió, con los datos de los ensayos de DCP para un mismo suelo, fue la unificación de resultados. Esto, debido a la

variabilidad que algunas veces se presentaba en las condiciones del suelo, pues es difícil encontrar un material completamente homogéneo en un radio de 1m, área en la cual se tomaron las penetraciones DCP, Densidad de Cono de Arena y el CBR in situ. Este metodo arrojó resultados satisfactorios para los diferentes PI encontrados en un mismo lugar, ya que se valora solo la capa homogénea.

8.3.3.6. Resultados del ensayo de DCP

En la tabla 18 se presentan los resultados generales de los 20 sitios seleccionados para la prueba de DCP:

Tabla 18. Resultados de la prueba de DCP

No	Muestra	DCPI (mm/golpe)
1	Altaho 1	3,20
2	Altaho 2	2,31
3	Fabrica1	3,20
4	Fabrica2	3,62
5	Fabrica3	7,28
6	casa	13,87
7	cra4-30	13,94
8	Policia	13,16
9	Mya1	24,50
10	Mya2	15,41
11	pana1	6,03
12	pana2	6,09
13	simon	4,09
14	terminal 1	5,99
15	terminal 2	4,08
16	terminal 3	6,55
17	terminal 4	6,37
18	terminal 5	9,19
19	parque1	5,00
20	parque2	3,10

8.3.4. Ensayos De Laboratorio

Las muestras fueron llevadas al laboratorio, en donde se les hizo la clasificación por el método de mallas o análisis mecánico, se les determinó su contenido de humedad y límites de Atterberg.



Figura 29. Imágenes de Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio determinaron suelos no plásticos. El mayor porcentaje de muestras fueron retenidas en los tamices No10 – No200, seguidos del pasa 200, clasificados como suelos areno – limosos no cohesivos (SM)

La tabla 19 presenta los resultados de clasificación para cada sitio de prueba en el sistema USC y AASHO:

8.3.4.1. Resultados de Clasificación y Humedad

Los resultados de Clasificación granulométrica y contenido de humedad del grupo de pruebas se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Resultados de la prueba de Clasificación Granulométrica

No	Muestra	Clasificación		Humedad %
		A.A.S.H.O	U.S.C	
1	Altaho 1	A-1b	SW - SM	3,85
2	Altaho 2	A-1b	SW - SM	3,56
3	Fabrica1	A-4	SM	4,31
4	Fabrica2	A-4	SM	4,33
5	Fabrica3	A-4	SM	9,22
6	casa	A-2-4	SM	14,07
7	cra4-30	A-4	SM-SC	12,92
8	Policia	A-4	SM	12,16
9	Mya1	A-2-4	SW - SM	14,93
10	Mya2	A-2-4	SW - SM	13,67
11	pana1	A-4	SM	4,31
12	pana2	A-4	SM	5,02
13	simon	A-1b	SM	6,73
14	terminal 1	A-4	SM	5,86
15	terminal 2	A-4	SM	7,66
16	terminal 3	A-4	SM	3,15
17	terminal 4	A-4	SM	6,59
18	terminal 5	A-4	SM	5,81
19	parque1	A-1a	GM	8,30
20	parque2	A-2-4	SM	1,79

9. CAPITULO IX

ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta una síntesis de los resultados obtenidos de los ensayos para 20 muestras del tipo SM, SW-SM y GM no cohesivas y se plantean varios modelos que relacionan las variables involucradas.

Tabla 20. Síntesis de Resultados para 20 muestras de SM, SW-SM y GM

No	Muestra	Clasificación		Densidad Seca gr/cm ³	Humedad %	DCPI (mm/golpe)	CBR In situ %
		A.A.S.H.O	U.S.C				
1	Altaho 1	A-1b	SW - SM	1,79	3,85	3,20	21,43
2	Altaho 2	A-1b	SW - SM	1,81	3,56	2,31	31,02
3	Fabrica1	A-4	SM	1,64	4,31	3,20	43,05
4	Fabrica2	A-4	SM	1,69	4,33	3,62	53,58
5	Fabrica3	A-4	SM	1,61	9,22	7,28	18,17
6	casa	A-2-4	SM	1,34	14,07	13,87	3,76
7	cra4-30	A-4	SM	1,49	12,92	13,94	6,02
8	Policía	A-4	SM	1,32	12,16	13,16	10,28
9	Mya1	A-2-4	SW - SM	1,48	14,93	24,50	3,95
10	Mya2	A-2-4	SW - SM	1,49	13,67	15,41	5,01
11	pana1	A-4	SM	1,54	4,31	6,03	21,24
12	pana2	A-4	SM	1,54	5,02	6,09	21,06
13	Simón B.	A-1b	SM	1,63	6,73	4,09	28,20
14	terminal 1	A-4	SM	1,62	5,86	5,99	20,49
15	terminal 2	A-4	SM	1,59	7,66	4,08	20,68
16	terminal 3	A-4	SM	1,66	3,15	6,55	25,69
17	terminal 4	A-4	SM	1,61	6,59	6,37	14,54
18	terminal 5	A-4	SM	1,62	5,81	9,19	15,79
19	parque1	A-1a	GM	1,70	8,30	5,00	11,28
20	parque2	A-2-4	SM	1,81	1,79	3,10	50,01

La regresión lineal simple y los métodos de regresión múltiple se usaron para analizar los datos obtenidos. El MSE, la desviación estándar

promedio DSP y el Coeficiente de Determinación se usaron para averiguar la bondad de ajuste. El MSE debe ser mínimo. El coeficiente de Determinación (r^2) es una medida normalizada de la bondad de ajuste y debe ser más alta. El coeficiente de determinación (r^2) oscila desde 0 a 1. Si r^2 es mayor de 0.8, la determinación se considera como aceptable. La desviación estándar promedio presenta el margen promedio de los valores de campo, en la cual oscila el valor hallado, siendo la media de los valores obtenidos la ecuación de correlación.

9.1. CBR in situ CON DCP PARA 19 MUESTRAS SM Y SW-SM

$$\text{Log (CBR)} = 2,130 - 1,114 * \text{Log (DCPI)} \quad (1)$$

$$r^2 = 0,8224; \text{MSE} = 0,00326; N = 19; \text{DSP} = \pm 1.32$$

Donde CBR es el valor del CBR en (%), N es el número de pruebas y DCPI es el Índice de penetración en mm/golpe. El diagrama de la variación de CBR in situ con el DCPI se muestra en la Figura 30:

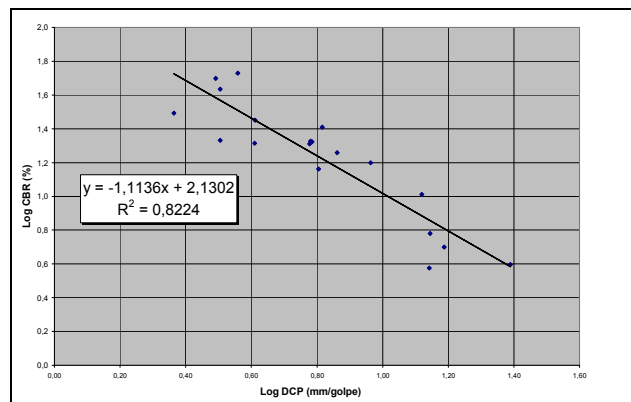


Figura 30. Variación de CBR in situ con DCP para 19 muestras SM y SW-SM.

9.2. CRB, DENSIDAD, DCPI (19 MUESTRAS SM Y SW-SM)

$$\text{Log (CBR)} = 1,8026 + 0,1712 * (\text{DD}) - 1,0464 * \text{Log (DCPI)}$$

$$r^2 = 0,8239; \text{MSE} = 0.019; N = 19; \text{DSP} = \pm 0,12$$

9.3. CRB, HUMEDAD, DCPI (19 MUESTRAS SM Y SW-SM)

$$\text{Log (CBR)} = 1,9922 - 0,0451 * (\%H) - 0,5338 * \text{Log (DCPI)}$$

$$r^2 = 0,8915; \text{MSE} = 0.012; N = 19; \text{DSP} = \pm 0,08$$

9.4. CRB, HUMEDAD, DENSIDAD, DCPI (19 MUESTRAS SM Y SW-SM)

$$\text{Log (CBR)} = 2,2416 - 0,0487 * (\%H) - 0,5851 * \text{Log (DCPI)} - 0,9018 * \text{Log (DD)}$$

$$r^2 = 0,8942; \text{MSE} = 0.012; N = 19; \text{DSP} = \pm 0,08$$

9.5. CBR in situ CON DCPI PARA 15 MUESTRAS SM

$$\text{Log (CBR)} = 2,328 - 1,314 * \text{Log DCPI}$$

$$r^2 = 0,8435; \text{MSE} = 0.03; N = 15; \text{DSP} = \pm 0,10$$

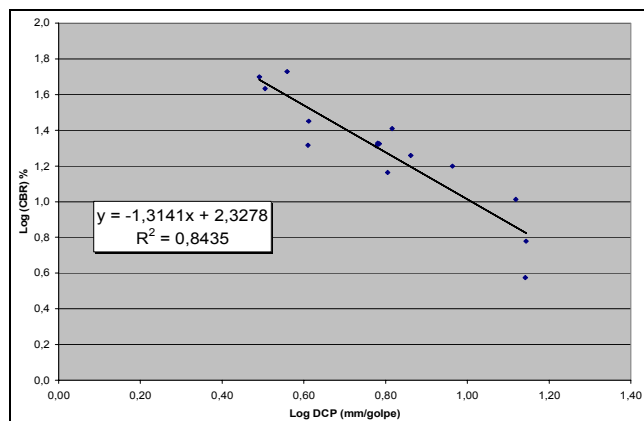


Figura 31. Variación de CBR in situ con DCP para 15 muestras SM

9.6. CRB, DENSIDAD, DCPI PARA 15 MUESTRAS SM

$$\text{Log (CBR)} = 1,0022 + 0,6812 * (\text{DD}) - 1,0024 * \text{Log (DCPI)}$$

$$r^2 = 0,8684; \text{MSE} = 0.01 \text{ N} = 15; \text{DSP} = \pm 0,09$$

9.7. CRB, HUMEDAD, DCPI PARA 15 MUESTRAS SM

$$\text{Log (CBR)} = 2,1940 - 0,0363 * (\%H) - 0,8310 \text{Log (DCPI)}$$

$$r^2 = 0,9068 \text{ MSE} = 0.009; \text{N} = 15; \text{DSP} = \pm 0,07$$

9.8. CRB, HUMEDAD, DENSIDAD, DCPI 15 MUESTRAS SM

$$\text{Log (CBR)} = 0,0271 - 0,0156 * (\%H) - 0,0740 * \text{Log (DCPI)} + 7,3513 * \text{Log (DD)}$$

$$r^2 = 0,8619; \text{MSE} = 0.018; \text{N} = 15; \text{DSP} = \pm 0,13$$

9.9. CBR in situ CON DCPI PARA 4 MUESTRAS SW-SM

$$\text{Log (CBR)} = 1,794 - 0,867 * \text{Log DCPI}$$

$$r^2 = 0,9942; \text{MSE} = 0.001 \text{ N} = 4; \text{DSP} = \pm 0,03$$

9.10. CRB, DENSIDAD, DCPI PARA 4 MUESTRAS SW-SM

$$\text{Log (CBR)} = 0,4302 + 0,6985 * (\text{DD}) - 0,6368 * \text{Log (DCPI)}$$

$$r^2 = 0,9960; \text{MSE} = 0.001; \text{N} = 4; \text{DSP} = \pm 0,024$$

9.11. CRB, HUMEDAD, DCPI PARA 4 MUESTRAS SW-SM

$$\text{Log (CBR)} = 1,7768 - 0,0118 * (\%H) - 0,7439 * \text{Log (DCPI)}$$

$$r^2 = 0,7937 ; \text{MSE} = 0.01; \text{N} = 4; \text{DSP} = \pm 0,17$$

9.12. CRB, HUMED, DENSID, DCPI, 4 MUESTRAS SW-SM

$$\text{Log (CBR)} = -2,7724 + 0,1318 * (\%H) - 0,9563 * \text{Log (DCPI)} - 16,0883 * \text{Log (DD)}$$

$$r^2 = 0,999; \text{MSE} = 0.00; \text{N} = 4; \text{DSP} = \pm 0,00$$

10. CAPITULO X

ANÁLISIS DE COSTOS

10.1. VENTAJAS ECONOMICAS DEL DCP

Las ventajas económicas del uso del DCP para la determinación del CBR in situ son una de las características que hacen que este equipo sea usado con gran frecuencia en la caracterización de subrasantes. Para realizar un ensayo de CBR in situ, se necesitaría arrendar una volqueta cargada, acondicionarla con el equipo de CBR y realizar ensayos para cada punto en particular, lo cual acarrea grandes costos de operación. Por la portatibilidad del DCP, su fácil uso y rápido número de repeticiones, se convierte en una alternativa poderosamente económica para la determinación del CBR in situ.

10.2. COSTOS DEL PROYECTO

- ❖ El valor del ensayo de CBR in situ fue asumido por el estudiante como costo de gasolina para la camioneta, costo del auxiliar y chofer.
- ❖ El costo de los ensayos de laboratorio, DCP y densidad de cono de arena fueron asumidos por la empresa ALTAINGCIVIL de la ciudad de Valledupar.
- ❖ El costo de transporte para la fase de reconocimiento y exploración fue asumido por el estudiante.
- ❖ El análisis está diseñado por sitio. En total se trabajaron 10 sitios.

Tabla 21. Presupuesto Proyecto De Grado

PRESUPUESTO PROYECTO DE GRADO			
ITEM	DESCRIPCION	V/sitio	V/TOTAL
	FASE DE RECONOCIMIENTO Y EXPLORACION	50.000	500.000
	ENSAYOS DE DCP	60.000	600.000
	ENSAYOS DE DENSIDAD DE CONO Y DE ARENA	50.000	500.000
	ENSAYOS DE CBR in situ	60.000	600.000
	ENSAYOS DE LABORATORIO	70.000	700.000
	(Humedad Limites y Clasificación Granulométrica)		
	REPARACION DE ALGUNOS EQUIPOS		100.000
	ACONDICIONAMEINTO DE LA CAMIONETA		100.000
TOTAL		3.100.000,00	

Los ensayos de CBR in situ, son muy costosos. Al valor del ensayo habría que sumarle el alquiler de la volqueta, cargue y descargue del material y costos de operación. En este proyecto se trabajó con una camioneta y se acondicionó para realizar los ensayos. Los costos aquí registrados, se refieren al costo de gasolina y costo de operación del chofer.

Dentro de las etapas de reconocimiento y exploración, hubo gastos de transporte a cada uno de los sitios.

El cono dinámico de penetración sufrió daños durante la fase de programa de pruebas. Dichos costos también se registran.

ALCANCES Y CONCLUSIONES

1. Se determinó las características y propiedades propias de los suelos existentes en el área local de Valledupar tales como granulometría, humedad, densidad y capacidad de soporte. Se concluye que los suelos de la región local de Valledupar son en su gran mayoría del tipo SM no cohesivos procedentes de los aportes laterales de los ríos que proceden de la sierra Nevada de Santa Marta y de la Serranía de Perijá y de aportes sedimentarios aluviales.

2. Se realizó el barrido de información de los parámetros (A y B) de la ecuación “ $\text{Log (CBR)} = A - B \text{Log (DCPI)}$ ” para los diferentes tipos de suelos hasta el momento estudiados, ampliando la base de datos sobre las aplicaciones y posibilidades de este equipo en nuestros suelos, incluyendo variables intrínsecas de los materiales que influyen a su vez en la resistencia de los mismos (tales como clasificación, humedad, densidad).

3. Se amplió el uso del DCP en la evaluación in situ de suelos existentes en el área local de Valledupar como una alternativa económica aportando a la empresa ALTAINGCIVIL las ecuaciones de correlación desarrolladas para tal fin.

4. En cuanto al análisis estadístico de la información se obtuvieron las siguientes relaciones entre las propiedades del suelo (clasificación, densidad, humedad, capacidad de soporte) y el DCP:

La investigación encontró una relación fuerte entre el DCPI y el CBR in situ para las 15 muestras de tipo SM. Se analizaron cuatro modelos incluyendo el modelo lineal, logarítmico, exponencial y el potencial (Log/Log).

De los cuatro modelos el que mejor se ajusta a la tendencia de los datos encontrados es el modelo de tipo potencial. Tiene el coeficiente más alto de determinación (r^2).

Asimismo, las correlaciones entre CBR y DCPI, ya realizadas en anteriores investigaciones, indican que este modelo ofrece la mayor bondad de ajuste, si solo se tiene el DCPI como variable independiente.

Para las 19 muestras SM y SW-SM:

Se encontró un modelo de correlación tipo potencial (Log/Log) entre el CBR (%) y el DCPI (mm/golpe) para las 19 muestras encontradas con un r^2 de 0.8224 y un MSE de 0.03. El modelo desarrollado presenta una desviación estándar promedio (DSP) de ± 1.32 .

$$\begin{aligned} \text{Log (CBR)} &= 2,13 - 1,114 * \text{Log (DCPI)} & (1) \\ r^2 &= 0,8224 \end{aligned}$$

Se desarrolló una relación importante entre el CBR (%) el DCPI (mm/golpe) y EL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) por medio de un modelo múltiple con un alto coeficiente de correlación (r^2 de 0,8915), un MSE de 0.012 y una desviación estándar promedio de ± 0.08 .

$$\begin{aligned} \text{Log (CBR)} &= 1,9922 - 0,0451 * (\%H) - 0,5338 * \text{Log (DCPI)} & (2) \\ r^2 &= 0,8915 \end{aligned}$$

La Ecuación (1) es ventajosa, ya que necesita únicamente los resultados de la prueba DCP para obtener el valor CBR in situ. Sin embargo la Ecuación (2) presenta una mayor correlación entre las variables y una

desviación mínima entre los datos de DCP-%H-CBR, para obtener los valores de CBR in situ.

Se desarrolló una relación importante entre el CBR, el DCPI (mm/golpe) y la DENSIDAD SECA (gr/cm³) por medio de un modelo múltiple con un coeficiente de correlación aceptable, pero poco significativa con respecto a la ecuación (1), por poseer el mismo r². MSE=0.02; DSP = ± 0.12.

$$\text{Log (CBR)} = 1,8028 + 0,1712 * (\text{DD}) - 1,0464 * \text{Log (DCPI)} \quad (3)$$
$$r^2 = 0,8239$$

Se desarrolló una relación importante entre todas las variables estudiadas por medio de un modelo múltiple con un alto coeficiente de correlación. El CBR trabaja como variable dependiente y el DCPI (mm/golpe), LA HUMEDAD (%) Y LA DENSIDAD (%) como variables independientes. MSE = 0.012; DSP = ± 0.08.

$$\text{Log (CBR)} = 2,2416 - 0,0487 * (\%H) - 0,5851 * \text{Log (DCPI)} - 0,9018 * \text{Log (DD)} \quad (4)$$
$$r^2 = 0,8942$$

En este caso resulta más ventajosa la ecuación (3), por trabajar solo con dos variables independientes.

Para las 15 muestras SM:

Se encontró un modelo de correlación tipo potencial (Log/Log) entre el CBR (%) y el DCPI (mm/golpe) con un coeficiente de correlación mucho más aceptable que la ecuación (1) y una DSP de ± 0.01.

$$\text{Log (CBR)} = 2,328 - 1,314 * \text{Log (DCPI)} \quad (5)$$
$$r^2 = 0,8436$$

Se desarrolló una relación excelente entre el CBR (%) el DCPI (mm/golpe), y EL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) por medio de un modelo múltiple con un alto coeficiente de correlación (r^2 de 0,9068) y un DSP = \pm 0.07:

$$\text{Log (CBR)} = 2,1940 - 0,0363 * (\%H) - 0,8310 * \text{Log (DCPI)} \quad (6)$$

$$r^2 = 0,9068$$

Se desarrolló una relación importante entre el CBR (%), el DCPI (mm/golpe) y la DENSIDAD SECA (gr/cm^3) por medio de un modelo múltiple con un alto coeficiente de correlación: MSE = 0.01; DSP = \pm 0.09

$$\text{Log (CBR)} = 1,0022 + 0,6812 * (DD) - 1,0024 * \text{Log (DCPI)} \quad (7)$$

$$r^2 = 0,8684$$

Se desarrolló una relación importante entre todas las variables estudiadas por medio de un modelo múltiple con un aceptable coeficiente de correlación. El CBR trabaja como variable dependiente y el DCPI (mm/golpe), LA HUMEDAD (%) Y LA DENSIDAD (%) como variables independientes: MSE = 0.018; DSP = \pm 0.13.

$$\text{Log (CBR)} = 0,0271 - 0,0156 * (\%H) - 0,0740 * \text{Log (DCPI)} + 7,3513 * \text{Log (DD)} \quad (8)$$

$$r^2 = 0,8619$$

Para las 4 muestras SW-SM:

Se encontró un modelo de correlación tipo potencial (Log/Log) entre el CBR (%) y el DCPI (mm/golpe): MSE = 0.0148; DSP = \pm 0.03

$$\text{Log (CBR)} = 1,794 - 0,887 * \text{Log (DCPI)} \quad (9)$$

$$r^2 = 0,9942$$

Se desarrolló una relación importante entre el CBR (%) el DCPI (mm/golpe), y EL CONTENIDO DE HUMEDAD (%) por medio de un modelo múltiple con un bajo coeficiente de correlación (r^2 de 0,7937); MSE = 0.01; DSP = ± 0.17 :

$$\text{Log (CBR)} = 1,7768 - 0,0118 * (\%H) - 0,7439 * \text{Log (DCPI)} \quad (10)$$

$$r^2 = 0,7937$$

Se desarrolló una relación importante entre el CBR (%), el DCPI (mm/golpe) y la DENSIDAD SECA (gr/cm^3) por medio de un modelo múltiple con un alto coeficiente de correlación; MSE = 0.001; DSP = ± 0.024 :

$$\text{Log (CBR)} = 0,4302 - 0,6985 * (DD) - 0,6368 * \text{Log (DCPI)} \quad (11)$$

$$r^2 = 0,9960$$

Se desarrolló una relación importante entre todas las variables estudiadas por medio de un modelo múltiple con un alto coeficiente de correlación. El CBR trabaja como variable dependiente y el DCPI (mm/golpe), LA HUMEDAD (%) Y LA DENSIDAD (%) como variables independientes; MSE = 0.0; DSP = ± 0.00

$$\text{Log (CBR)} = 2,7724 + 0,1318 * (\%H) - 0,9563 * \text{Log (DCPI)} - 16,0883 * \text{Log (DD)} \quad (12)$$

$$r^2 = 0,999$$

Tabla 22. Resumen de las ecuaciones halladas en este proyecto

Para las 19 muestras SM y SW-SM:	r²	DSP
$\text{Log (CBR)} = 2,13 - 1,114 * \text{Log (DCPI)}$	0,8224	1.32
$\text{Log (CBR)} = 1,9922 - 0,0451 * (\%H) - 0,5338 * \text{Log (DCPI)}$	0,8915	0.08
$\text{Log (CBR)} = 1,8028 + 0,1712 * (DD) - 1,0464 * \text{Log (DCPI)}$	0,8239	0.12
$\text{Log (CBR)} = 2,2416 - 0,0487 * (\%H) - 0,5851 * \text{Log (DCPI)} - 0,9018 * \text{Log (DD)}$	0,8942	0.08

Para las 15 muestras SM:	r²	DSP
$\text{Log (CBR)} = 2,328 - 1,314 * \text{Log (DCPI)}$	0,8436	0.01
$\text{Log (CBR)} = 2,1940 - 0,0363 * (\%H) - 0,8310 * \text{Log (DCPI)}$	0,9068	0.07
$\text{Log (CBR)} = 1,0022 + 0,6812 * (DD) - 1,0024 * \text{Log (DCPI)}$	0,8684	0.09
$\text{Log (CBR)} = 0,0271 - 0,0156 * (\%H) - 0,0740 * \text{Log (DCPI)} + 7,3513 * \text{Log (DD)}$	0,8619	0.13

Para las 4 muestras SW-SM:	r²	DSP
$\text{Log (CBR)} = 1,794 - 0,887 * \text{Log (DCPI)}$	0,9942	0.03
$\text{Log (CBR)} = 1,7768 - 0,0118 * (\%H) - 0,7439 * \text{Log (DCPI)}$	0,7930	0.17
$\text{Log (CBR)} = 0,4302 - 0,6985 * (DD) - 0,6368 * \text{Log (DCPI)}$	0,9960	0.02
$\text{Log (CBR)} = 2,7724 + 0,1318 * (\%H) - 0,9563 * \text{Log (DCPI)} - 16,0883 * \text{Log (DD)}$	0,9999	0.00

- ❖ En total fueron 19 muestras del tipo SM y SW-SM, 15 de las cuales eran SM y 4 SW-SM.
- ❖ Solo se presentó un caso de clasificación GM, ubicado en el parque de la leyenda Vallenata, a 200 m del río Guatapurí. Este dato no fue incluido dentro de las correlaciones.
- ❖ No se recomienda utilizar el grupo de ecuaciones halladas para las 4 muestras SW-SM ya que los 4 datos que resultan muy escasos para trabajar confiablemente dichas ecuaciones de correlación. Se recomienda aumentar el numero de datos para este grupo.

- ❖ Se recomienda utilizar el grupo de ecuaciones del tipo SM para 15 muestras; pero dentro de estas cuatro ecuaciones, sería recomendable utilizar la ecuación: $\text{Log (CBR)} = 2,1940 - 0,0363* (\%H) - 0,8310*\text{Log (DCPI)}$. Sin embargo si no se cuenta con el dato de la humedad en el sitio, la ecuación (5): $\text{Log (CBR)} = 2,328 - 1,314* \text{Log (DCPI)}$, sería la mas recomendada.
- ❖ La Ecuación (5) es ventajosa, ya que necesita únicamente los resultados de la prueba DCP para obtener el valor CBR in situ. Sin embargo la Ecuación (6) presenta una mayor correlación entre las variables, una desviación estándar promedio mínima entre los datos de DCP-%H-CBR y los valores de humedad en el sitio para obtener los valores de CBR in situ.
- ❖ Si se tienen datos de densidad en el sitio, se recomienda la ecuación: $\text{Log (CBR)} = 1,0022 + 0,6812* (DD) - 1,0024*\text{Log (DCPI)}$; dentro del grupo de 15 muestras del tipo SM.
- ❖ Si se tienen datos de humedad y densidad en el sitio, se recomienda utilizar la ecuación (4): $\text{Log (CBR)} = 2,2416 - 0,0487* (\%H) - 0,5851*\text{Log (DCPI)} - 0,9018*\text{Log (DD)}$ para el grupo de 19 muestras del tipo SM y SW-SM.

PROYECCIONES

Como las correlaciones se realizaron para los tipos de suelos SM y SW-SM no cohesivos, presentes en el Valle del río Cesar, debería efectuarse investigaciones adicionales para los suelos arcillosos ubicados en las zonas montañosas que bordean el Valle del río Cesar (serranía del Perijá y Sierra Nevada de Santa Marta) y de esta forma trabajar el DCP con una más amplia variedad de suelos en la zona.

Ampliar la base de datos para la clasificación de suelos SW-SM, ya que la encontrada en esta investigación resultó ser muy escasa (N =4).

Sería aconsejable estudiar correlaciones con condiciones controladas de granulometría, humedad, confinamiento y profundidad de auscultación, tipos de suelos, incluyendo aquellos utilizados para estabilización (mezclados con cal, suelo cemento u otros elementos).

Estudiar la posibilidad de implementar el uso del DCP como una herramienta indispensable en el control de calidad compactaciones de suelos usados en la construcción de carreteras.

BIBLIOGRAFIA

1. Daleiden, J., Rarihut, B., and Killingsworth, B., "Evaluation of the AASHTO Flexible Pavement Design Equation Utilizing the SHRP LTPP Data Base" Presented at Transportation Research Board 72nd Annual Meeting, Jan., 3 1993, Washington D.C., Paper No. 931171.
2. Forsyth, R., "The Case for Reliability in Pavement Design," Presented at Transportation Research Board 72nd Annual Meeting, Jan., 1993, Paper No. 9331005.
3. Harison, J.A., "Correlation Between California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soils," Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 2, Dec., 1987, pp. 833-844, Technical Note 463.
4. Kleyn, E., Maree, J., and Savage, P., "The Application of a Portable Pavement Dynamic Cone Penetrometer to Determine In Situ Bearing Properties of Road Pavement Layers and Subgrades in South Africa" Proc. Of the Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, May, 1982.
5. Herrin, S., and Thompson, M., "Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Airfield Pavement Engineering," Presented at 1990 International Air Transportation Conference, ASCE Air Transport Division, Seattle, 1990.
6. Kleyn, E. G. "The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)," Report 2/74. Transvaal Roads Department, Pretoria, 1975.
7. Smith, R. B., and Pratt, D. N. "A Field Study of In Situ California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Testing for Road Subgrade Investigation," Australian Road Research, Vol. 13, No. 4, 1983, pp. 285-293.
8. Livneh, M., and I. Ishai. "Pavement and Material Evaluation by a Dynamic Cone Penetrometer." *Proc., Sixth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement*, 1987, Vol. 1, Ann Arbor, Michigan, pp. 665-674.
9. Livneh, M., and I. Ishai. "Pavement and Material Evaluation by a Dynamic Cone Penetrometer," *Proc., Sixth International Conference on the Structural*

Design of Asphalt Pavement, 1987, Vol. 1, Ann Arbor, Michigan , pp. 665-674.

10. Webster, S.L.; Grau, R.H.; and Williams, R.P. *Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Instruction Report, No. GL-92-3, 1992.

11. Livneh, M.; Ishai, I.; and Livneh, N. "Effect of Vertical Confinement on Dynamic Cone Penetrometer Strength Values in Pavement and Subgrade Evaluations," *Transportation Research Record 1473*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1995, pp. 1-8.

12. Siekmeier, J.A.; Young, D.; and Beberg, D. "Comparison of the Dynamic Cone Penetrometer with Other Tests During subgrade and Granular Base Characterization in Minnesota," *Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli: Third Volume*, ASTM STP 1375, p175-188. S.D. Tayabji and E.O. Lukanen, Eds, American Society for Testing and Materials, 2000.

13. Chen, D. H., Wang, J. N., Bilyeu, J. "Application of the DCP in Evaluation of Base and Subgrade Layers." *80th Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington, D.C, January 2001.

14. Modelos de correlación entre el DCP y el CBR inalterado para suelos cohesivos. Gonzalo Pérez Buitrago Ing. Transporte y Vías UPTC. Esp. y Mag. Vías terrestres UNICAUCA Profesor Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías *Director Proyecto*; Daniel Eduardo Álvarez Castillo, Germán Andrés Fuertes Chaparro; *Jóvenes Investigadores - Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías – UPTC*.

15. Heukelom, W., and Klomp, A.J.G. "Dynamic Testing as Means of Controlling Pavements During and After Construction," *Proceedings of the First International Conference on Structural Design of Asphalt Pavement*, University of Michigan, 1962.

16. Powell, W. D., Potter, J. F., Mayhew, H. C., and Nunn, M. E., "The Structural Design of Bituminous Roads," TRRL Report LR 1132, 1984, pp. 62.

17. Pen, C. K. "An Assessment of the Available Methods of Analysis for Estimating the Elastic Moduli of Road Pavements," *Proceeding of Third Int. Conf. on Bearing Capacity of Roads and Airfields*, Trondheim, 1990.

18. Chua, K. M., and Lytton, R. L. "Dynamic Analysis Using the Portable Dynamic Cone Penetrometer." *Transportation Research Record 1192*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1981, pp. 702-708.
19. Chen, J.; Hossain, M.; and LaTorella, T. "Use of Falling Weight Deflectometer and Dynamic Cone Penetrometer in Pavement Evaluation." *Transportation Research Record 1655*, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1995, pp. 145-151.
20. De Beer, M., "Use of Dynamic Cone Penetrometer (DCP) in the Design of Road Structures." *Geotechnics in African Environment*, Blight et al. (Eds), Balkema, Rotterdam, 1990.
21. Sowers, G., and Hedges, C., "Dynamic Cone for Shallow In-Situ Penetration Testing," Vane Shear and Cone Penetration Resistance Testing of In-Situ Soils, ASTM STP 399 Am. SOC. Testing Mats, 1966 p 29.
22. Livneh, M., and Ishai, I., "The Relationship Between In-Situ CBR Test and Various Penetration Tests," Penetration Testing 19438, ISOPT-1, De Kuitert (ed.) ©1988 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 6191 801 4.
23. Ayers, M., Thompson, M., and Uzarski, D., "Rapid Shear Strength Evaluation of In Situ Granular Materials," Presented at Transportation Research Board 68th Annual Meeting, Jan., 1989, Washington D.C, Paper No. 880387.
24. Tom Buraham and Dave Johnson, "In Situ Foundation Characterization Using the Dynamic Cone Penetrometer" Report No MN/RD-93/05, Minnesota Department of Transportation, May 1993.
25. Thomas R. Burnham, P.E. "Application Of The Dynamic Cone Penetrometer To Minnesota Department Of Transportation Pavement Assessment Procedures" Final Report" Minnesota Department of Transportation Office of Minnesota Road Research. May 1997.
26. Farshad Amini. "Potential Applications Of Dynamic And Static Cone Penetrometers In Mdot Pavement Design And Construction" Department of Civil Engineering Jackson State University, Mississippi Department of Transportation And the U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
27. Murad Y. Abu-Farsakh, Ph.D., P.E., Khalid Alshibli, Ph.D., P.E., Munir D. Nazzal, E.I., Ekrem Seyman, E.I., "Evaluación De Ensayos Tecnológicos In-

Situ Para Control De Construcción De Capas De Base Y Terraplenes”. Louisiana Department of Transportation and Development Louisiana Transportation Research Center May 2004.

28. “Descripción Y Application Del Dual-Mass Dynamic Cone Penetrometer” Appendix J.

29. Charlie Kremer and Shongtao Dai, “Improvement and Validation of Mn/DOT DCP Specifications for Aggregate Base Materials and Select Granular,” Minnesota Department of Transportation Office of Materials. April 14, 2004.

30. K.A.K. Karunaprema and A.G.H.J. Edirisinghe, “Estudio De Laboratorio Para Establecer Algunas Relaciones Útiles Para El Uso De El Cono Dinámico De Penetración”. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Peradeniya, Peradeniya, Sri Lanka. 2002.

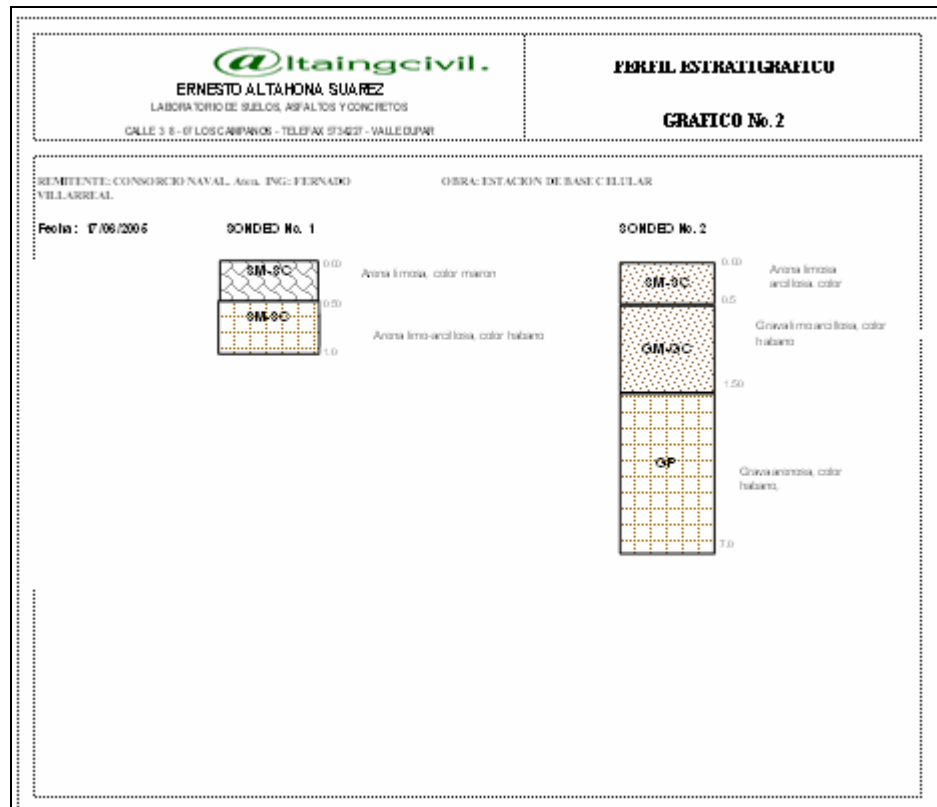
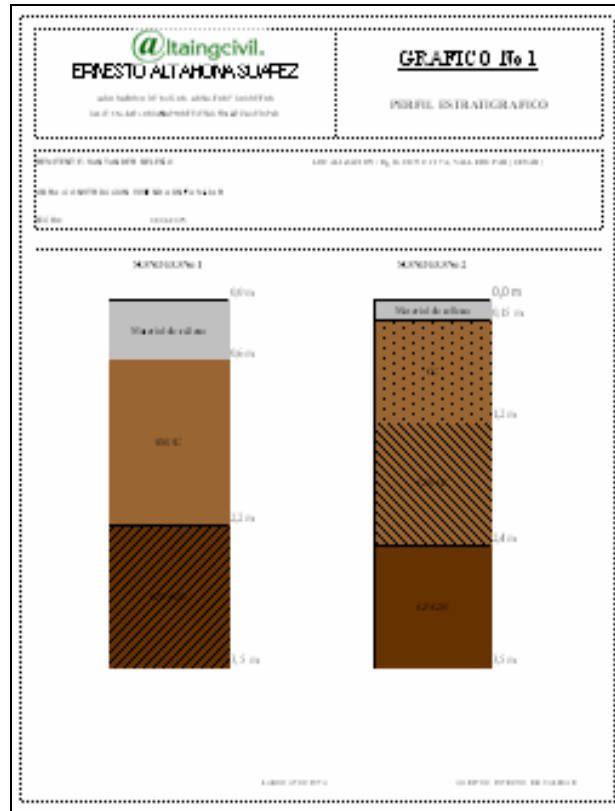
31. STP 240 – 20., “Standard Test Procedures Manual of the Dynamic Cone Penetrometer” Foundation Investigation.

32. By Colin Jones, “rehabilitation and maintenance Improved Measurement of Pavement Strength by Dynamic Cone Penetrometer” project report print/277/04 Dynamic Cone Penetrometer tests and analysis Technical Information Note, May, 2004.

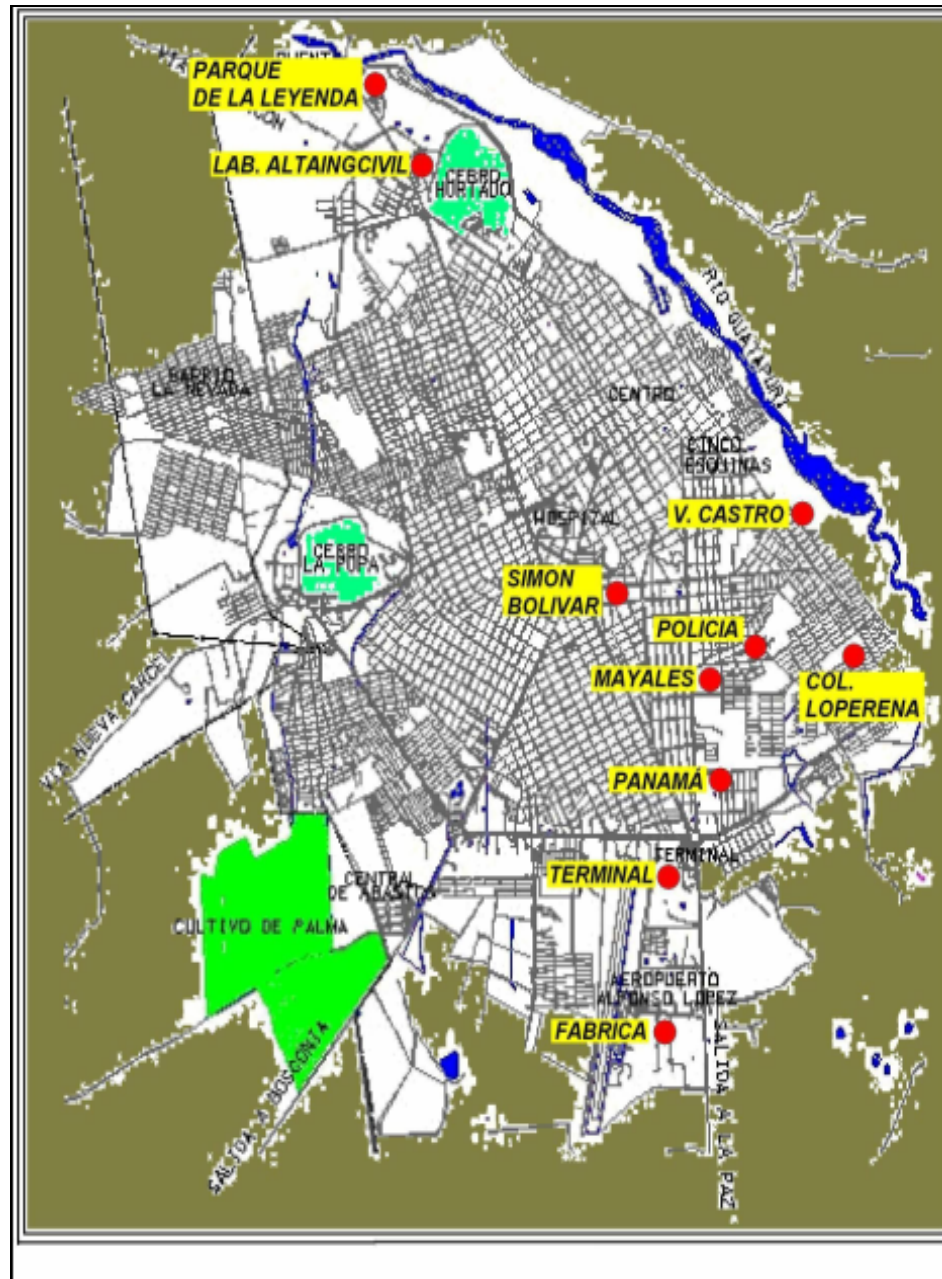
33. INVIAS, E-112 - Toma muestra sup suelo inalterado, E-122 (humedad), E-123 (Granulometria), E-125 - Limite Liquido, E-126 - Limite Plastico, E-148 (CBR), E-161(densidad cono arena), E-169 (CBR in-situ).

ANEXOS

**PERFILES
ESTRATIGRAFICOS DE
LA CIUDAD DE
VALLEDUPAR
(Fuente: Lab. AltaIngCivil)**



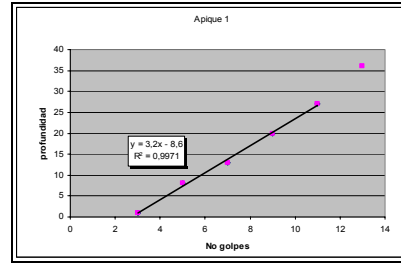
Plano Ciudad de Valledupar



MEMORIA DE LOS ENSAYOS DE CONO DINAMICO DE PENETRACIÓN

ALTAHONA 1

SUBGRADE DCP Test Laboratorio Altahona Offset : Apique 1		
1		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
3	1	0,33
5	8	3,50
7	13	2,50
9	20	3,50
11	27	3,50
13	36	4,50



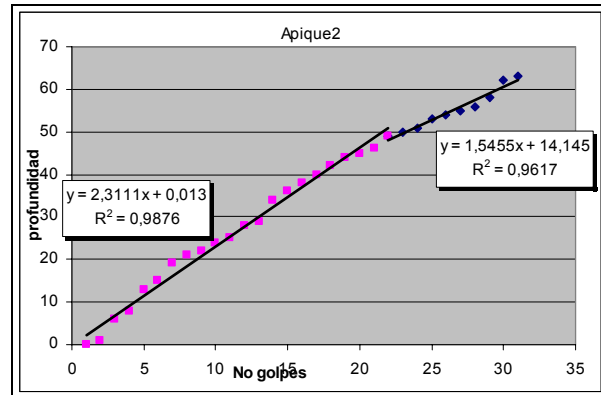
No INDICES	prof (mm)	INDICE
1	27	3,2
2	36	1,61
INDICE =		3,20

ALTAHONA 2

SUBGRADE DCP Test Laboratorio Altahona Offset : Apique 2		
2		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
1	0	0,00
2	1	1,00
3	6	5,00
4	8	2,00
5	13	5,00
6	15	2,00
7	19	4,00
8	21	2,00
9	22	1,00
10	24	2,00
11	25	1,00
12	28	3,00
13	29	1,00

14	34	5,00
15	36	2,00
16	38	2,00
17	40	2,00
18	42	2,00
19	44	2,00
20	45	1,00
21	46	1,00
22	49	3,00
23	50	1,00
24	51	1,00
25	53	2,00
26	54	1,00
27	55	1,00
28	56	1,00
29	58	2,00
30	62	4,00
31	63	1,00

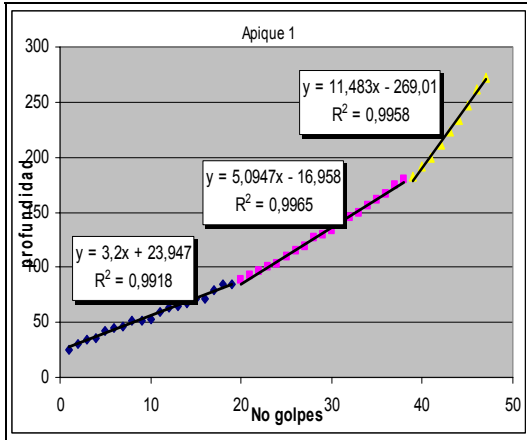
No INDICES	prof (mm)	INDICE
1	49	2,311
2	63	1,61
INDICE =		2,31



FABRICA 1

SUBGRADE DCP Test Fabrica Offset : Apique 1 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0	0	
1	25	25,00
2	30	5,00
3	35	5,00
4	36	1,00
5	42	6,00
6	45	3,00
7	46	1,00
8	51	5,00
9	52	1,00
10	53	1,00
11	60	7,00
12	64	4,00
13	65	1,00
14	68	3,00
15	71	3,00
16	72	1,00
17	79	7,00
18	84	5,00
19	85	1,00
20	88	3,00

21	92	4,00
22	96	4,00
23	100	4,00
24	103	3,00
25	110	7,00
26	115	5,00
27	119	4,00
28	127	8,00
29	129	2,00
30	134	5,00
31	140	6,00
32	145	5,00
33	150	5,00
34	156	6,00
35	161	5,00
36	166	5,00
37	174	8,00
38	180	6,00
39	182	2,00
40	191	9,00
41	200	9,00
42	212	12,00
43	223	11,00
44	234	11,00
45	247	13,00
46	262	15,00
47	272	10,00

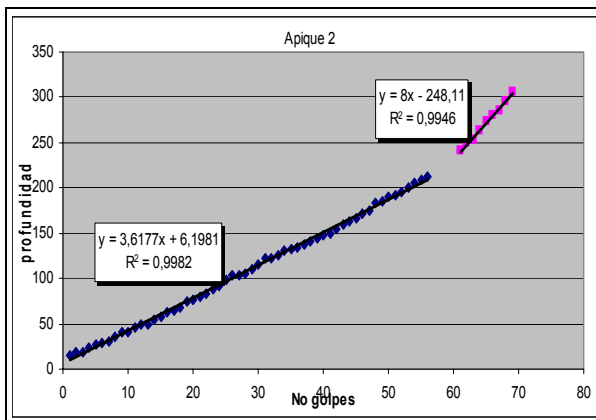


No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	3,2	85
2	5,0947	180
3	11,483	272
INDICE = 3,2		

FABRICA 2

SUBGRADE DCP Test Fabrica Offset : Apique 2 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0	0	
1	16	16,00
2	18	2,00
3	19	1,00
4	23	4,00
5	28	5,00
6	29	1,00
7	31	2,00
8	35	4,00
9	40	5,00
10	41	1,00
11	46	5,00
12	49	3,00
13	49	0,00
14	55	6,00
15	58	3,00
16	63	5,00
17	65	2,00
18	68	3,00
19	75	7,00
20	76	1,00
21	80	4,00
22	84	4,00
23	89	5,00
24	92	3,82
25	99	3,87
26	103	3,87
27	104	3,87
28	106	3,38
29	111	3,46
30	116	3,55
31	122	3,53
32	123	3,47
33	125	3,57
34	130	3,63
35	132	3,62
36	135	3,56
37	138	3,67
38	141	3,61
39	145	3,63
40	148	3,78
41	150	3,68
42	155	3,72
43	160	3,66
44	163	3,73
45	166	3,76
46	171	3,63

47	175	3,74
48	183	3,72
49	186	3,71
50	190	3,66
51	192	3,66
52	196	3,65
53	200	3,64
54	205	3,63
55	209	3,64
56	213	3,65
57	218	3,65
58	223	3,66
59	228	3,66
60	233	3,67
61	241	3,67
62	249	3,67
63	254	3,68
64	263	3,68
65	273	3,68
66	280	3,68
67	285	3,68
68	296	3,68
69	306	3,67

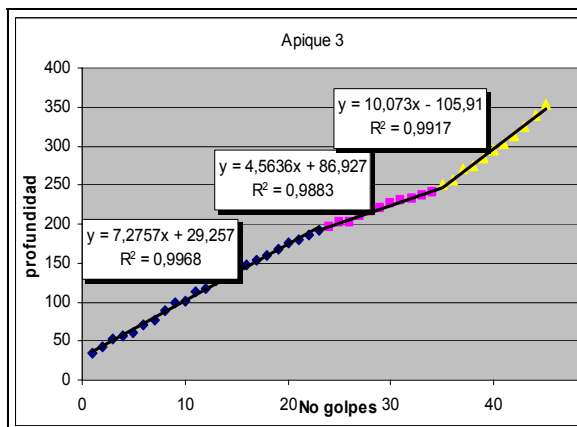


No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	3,6177	233
2	8	306
INDICE = 3,6177		

FABRICA 3

SUBGRADE DCP Test Fabrica (ensayo 3) Offset : Apique 2 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0	0	
1	35	35,00
2	43	8,00
3	52	9,00
4	57	5,00
5	61	4,00
6	70	9,00
7	77	7,00
8	89	12,00
9	99	10,00
10	101	2,00
11	113	12,00
12	118	5,00
13	128	10,00
14	135	7,00
15	142	7,00
16	148	6,00
17	153	5,00
18	160	7,00

19	167	7,00
20	175	8,00
21	180	5,00
22	186	6,00
23	192	6,00
24	195	3,00
25	202	7,00
26	203	8,13
27	210	8,08
28	217	7,01
29	220	7,01
30	226	6,93
31	230	7,01
32	232	7,13
33	236	7,05
34	241	7,05
35	250	6,85
36	257	6,74
37	270	6,93
38	275	6,72
39	285	6,80
40	294	6,66
41	304	6,66
42	314	6,64
43	326	6,67
44	339	6,73
45	353	6,72

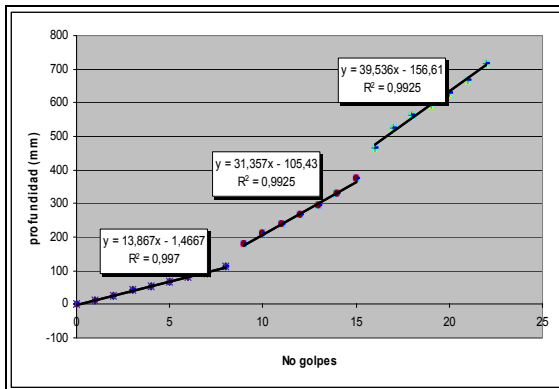


No INDICES	INDICE	prof hasta (mm)
1	7,2757	192
2	4,5636	241
3	10,073	353
INDICE = 7,2757		

CASA (Villa Castro)

SUBGRADE DCP Test Casa Garaje DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0	0	
1	10	10,00
2	25	15,00
3	43	18,00
4	55	12,00
5	68	13,00
6	80	12,00
7	93	13,00

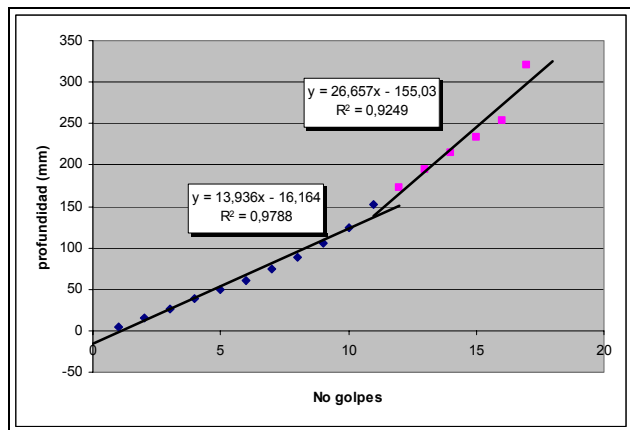
8	112	19,00
9	178	66,00
10	212	34,00
11	240	28,00
12	268	28,00
13	295	27,00
14	328	33,00
15	375	47,00
16	465	90,00
17	524	59,00
18	564	40,00
19	595	31,00
20	630	35,00
21	668	38,00
22	716	48,00



No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	13,867	112
2	31,357	375
3	39,536	716
INDICE = 13,967		

CRA 4ª CON 30 (Anexo Colegio Nal. Loperena)

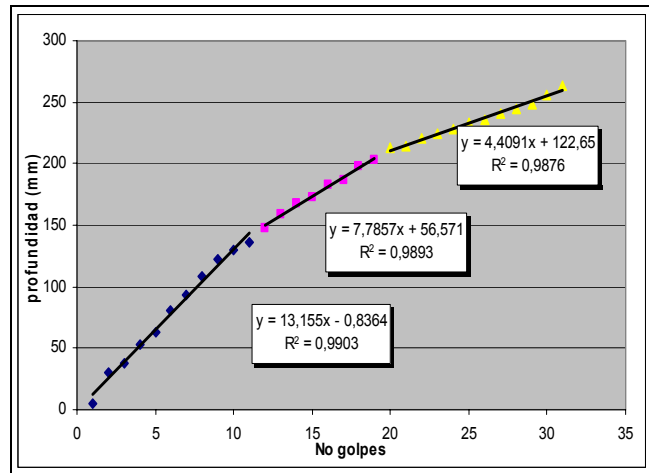
al lado de la ceiba Parque del Colegio de la Cra 4 ocn 30 1 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	5	5,00
2	16	11,00
3	26	10,00
4	39	13,00
5	50	11,00
6	60	10,00
7	75	15,00
8	89	14,00
9	105	16,00
10	125	20,00
11	152	27,00
12	172	20,00
13	195	23,00
14	215	20,00
15	234	19,00
16	253	19,00
17	320	67,00



No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	13,936	152
2	26,657	320
INDICE = 12,3		

COLEGIO DE LA POLICIA (Ntra. Sra. Fátima)

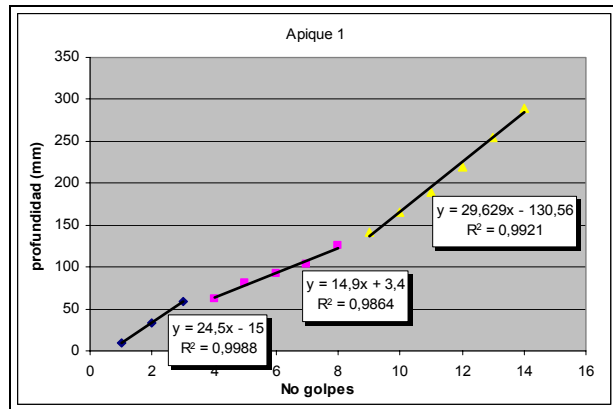
colegio de la policia parque frente 1 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	5	5,00
2	30	25,00
3	38	8,00
4	53	15,00
5	63	10,00
6	81	18,00
7	93	12,00
8	108	15,00
9	122	14,00
10	130	8,00
11	136	6,00
12	147	11,00
13	159	12,00
14	168	9,00
15	173	5,00
16	183	10,00
17	187	4,00
18	198	11,00
19	203	5,00
20	213	10,00
21	214	1,00
22	220	6,00
23	225	5,00
24	228	3,00
25	233	5,00
26	236	3,00
27	241	5,00
28	244	3,00
29	248	4,00
30	256	8,00
31	263	7,00



No INDICES	INDICE	prof hasta (mm)
1	13,155	136
2	7,7857	203
3	4,4091	263
INDICE = 13,155		

MAYALES 1

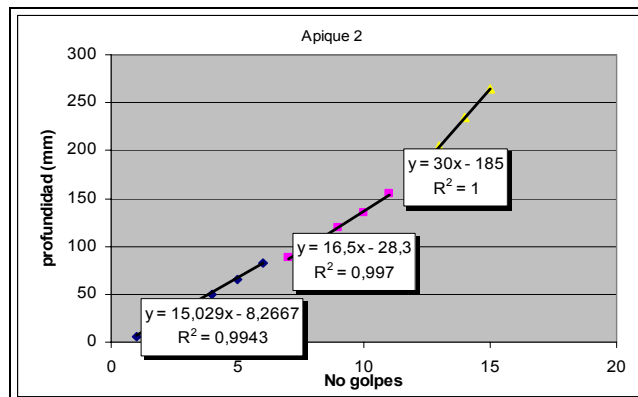
Agosto 25 /2005 los mayales via sin pavimentar Apique No1 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	10	10,00
2	33	23,00
3	59	26,00
4	62	3,00
5	81	19,00
6	92	11,00
7	104	12,00
8	125	21,00
9	142	17,00
10	165	23,00
11	190	25,00
12	220	30,00
13	254	34,00
14	290	36,00



No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	24,5	59
2	14,9	125
3	29,629	290
INDICE = 24,5		

MAYALES 2

Agosto 25 / 2005 los mayales via sin pavimentar Apique No2 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	5	5,00
2	23	18,00
3	40	17,00
4	50	10,00
5	65	15,00
6	83	18,00
7	88	5,00
8	104	16,00
9	119	15,00
10	135	16,00
11	155	20,00
12	175	20,00



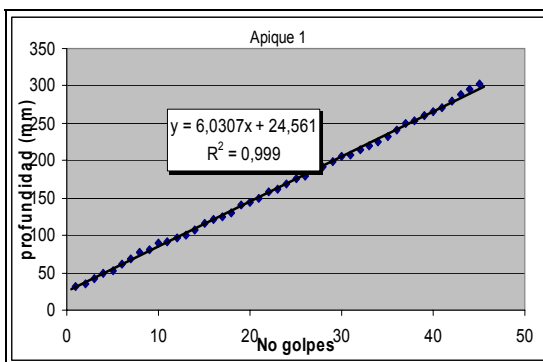
No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	15,029	83
2	16,5	155
3	30	265
INDICE = 15,029		

13	205	30,00
14	235	30,00
15	265	30,00

PANAMA 1

Barrio Panamá Cuadra baldia, por Servipan 1 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	32	32,00
2	35	3,00
3	42	7,00
4	50	8,00
5	53	3,00
6	62	9,00
7	69	7,00
8	78	9,00
9	81	3,00
10	90	9,00
11	92	2,00
12	96	4,00
13	100	4,00
14	108	8,00
15	116	8,00
16	121	5,00
17	125	4,00
18	130	5,00
19	140	10,00

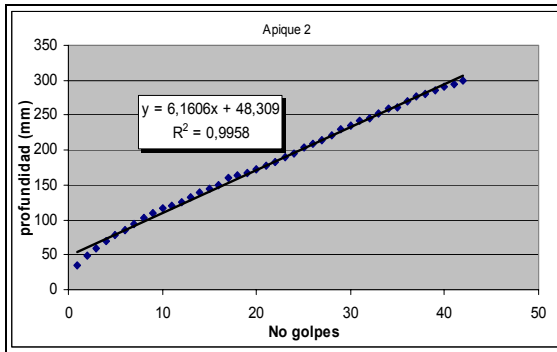
20	145	5,00
21	150	5,00
22	158	8,00
23	162	4,00
24	168	6,00
25	175	7,00
26	180	5,00
27	188	8,00
28	192	4,00
29	199	7,00
30	205	6,00
31	208	3,00
32	215	7,00
33	220	5,00
34	226	6,00
35	232	6,00
36	241	9,00
37	249	8,00
38	253	4,00
39	260	7,00
40	265	5,00
41	270	5,00
42	280	10,00
43	288	8,00
44	295	7,00
45	303	8,00



No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	6,0307	265
2	6,0307	265
INDICE = 6,0307		

PANAMA 2

Barrio Panamá Cuadra baldia, por Servipan 2 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	35	35,00
2	49	14,00
3	59	10,00
4	70	11,00
5	79	9,00
6	85	6,00
7	94	9,00
8	102	8,00
9	110	8,00
10	116	6,00
11	121	5,00
12	126	5,00
13	132	6,00
14	139	7,00
15	144	5,00
16	150	6,00
17	160	10,00
18	163	3,00
19	167	4,00
20	173	6,00
21	178	5,00
22	182	4,00
23	190	8,00
24	195	5,00
25	204	9,00
26	209	5,00
27	214	5,00
28	222	8,00
29	229	7,00
30	235	6,00
31	242	7,00
32	246	4,00
33	253	7,00
34	259	6,00
35	262	3,00
36	270	8,00
37	276	6,00
38	280	4,00
39	286	6,00
40	291	5,00
41	295	4,00
42	300	5,00

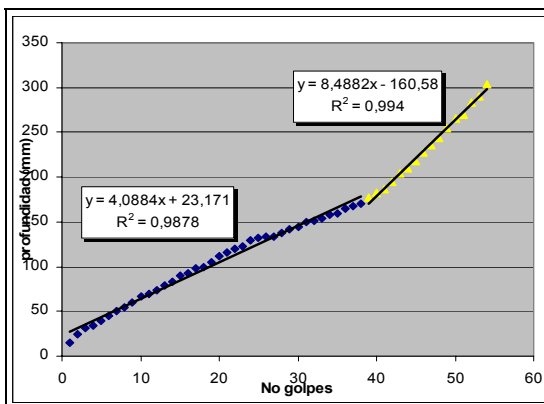


No INDICES	INDICE	prof hasta (mm)
1	6,1606	300
2	6,1606	300
INDICE = 6,1606		

SIMON BOLIVAR

SUBGRADE DCP Test		
Fabrica		
1		
DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0	0	
1	15	15,00
2	25	10,00
3	31	6,00
4	34	3,00
5	40	6,00
6	45	5,00
7	50	5,00
8	54	4,00
9	60	6,00
10	67	7,00
11	70	3,00
12	73	3,00
13	79	6,00
14	83	4,00
15	90	7,00
16	93	3,00
17	98	5,00
18	100	2,00
19	105	5,00
20	112	7,00
21	116	4,00
22	120	4,00
23	122	2,00

24	130	8,00
25	132	2,00
26	133	1,00
27	134	1,00
28	137	3,00
29	142	5,00
30	145	3,00
31	150	5,00
32	151	1,00
33	154	3,00
34	158	4,00
35	160	2,00
36	165	5,00
37	167	2,00
38	170	3,00
39	177	7,00
40	182	5,00
41	187	5,00
42	195	8,00
43	204	9,00
44	210	6,00
45	218	8,00
46	228	10,00
47	235	7,00
48	244	9,00
49	254	10,00
50	265	11,00
51	270	5,00
52	283	13,00
53	290	7,00
54	304	14,00

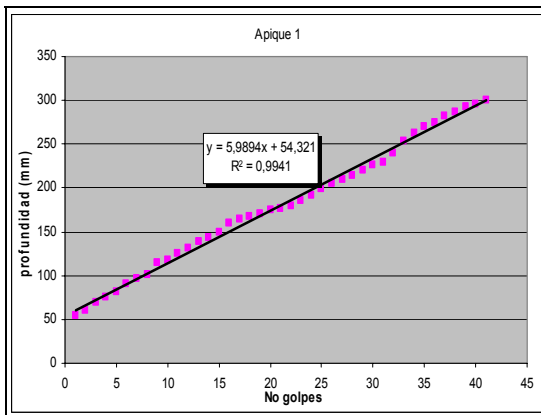


No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	4,0884	170
2	8,4882	304
INDICE = 4,0884		

TERMINAL 1

Parte posterior Terminal transportes - avenida 25 de Dic K0 + 40 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	55	55,00
2	60	5,00
3	70	10,00
4	75	5,00
5	82	7,00
6	91	9,00
7	97	6,00
8	101	4,00
9	114	13,00
10	117	3,00
11	125	8,00
12	131	6,00
13	139	8,00
14	144	5,00
15	150	6,00
16	160	10,00
17	164	4,00

18	168	4,00
19	170	2,00
20	175	5,00
21	176	1,00
22	180	4,00
23	186	6,00
24	191	5,00
25	199	8,00
26	205	6,00
27	210	5,00
28	214	4,00
29	220	6,00
30	226	6,00
31	230	4,00
32	240	10,00
33	254	14,00
34	263	9,00
35	270	7,00
36	275	5,00
37	282	7,00
38	287	5,00
39	292	5,00
40	296	4,00
41	300	4,00

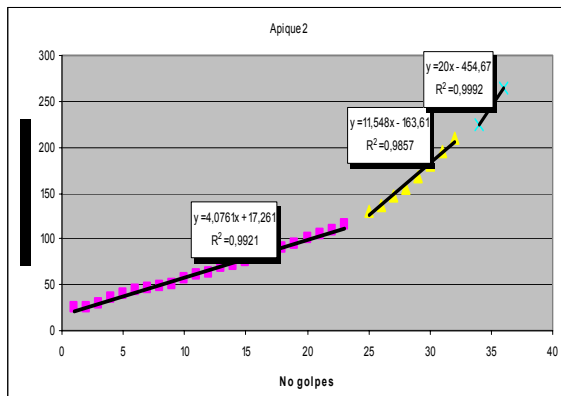


No INDICES	INDICE	prof hasta (mm)
1	5,9894	300
2	5,9894	300
INDICE = 5,9894		

TERMINAL 2

Parte posterior Terminal transportes - avenida 25 de Dic K0 +80 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	25	25,00
2	26	1,00
3	30	4,00
4	36	6,00
5	40	4,00
6	44	4,00
7	46	2,00
8	49	3,00
9	50	1,00
10	56	6,00
11	60	4,00
12	62	2,00
13	69	7,00

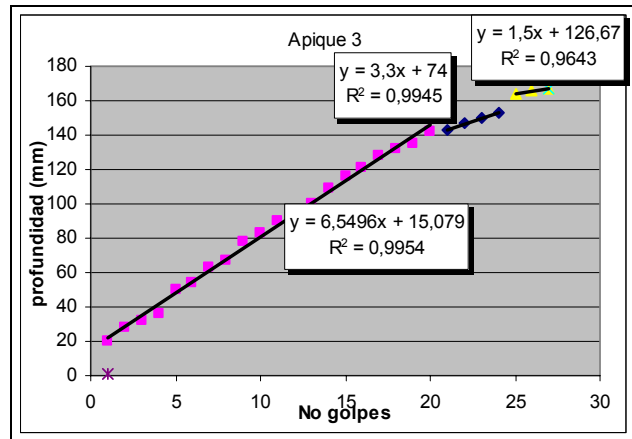
14	72	3,00
15	76	4,00
16	80	4,00
17	86	6,00
18	90	4,00
19	94	4,00
20	100	6,00
21	105	5,00
22	110	5,00
23	116	6,00
24	123	7,00
25	130	7,00
26	137	7,00
27	147	10,00
28	155	8,00
29	168	13,00
30	181	13,00
31	196	15,00
32	210	14,00
33	215	5,00
34	225	10,00
35	246	21,00
36	265	19,00



No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	4,0761	116
2	11,548	210
3	20	265
INDICE PONDERADO =		

TERMINAL 3

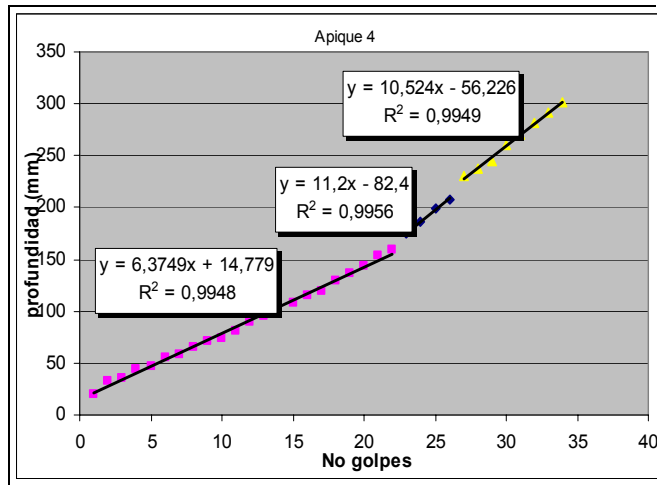
Parte posterior Terminal transportes - avenida 25 de Dic K0 + 120 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	20	20,00
2	28	8,00
3	32	4,00
4	36	4,00
5	50	14,00
6	54	4,00
7	63	9,00
8	67	4,00
9	78	11,00
10	83	5,00
11	90	7,00
12	93	3,00
13	100	7,00
14	109	9,00
15	116	7,00
16	121	5,00
17	128	7,00
18	132	4,00
19	135	3,00
20	142	7,00
21	143	1,00
22	147	4,00
23	150	3,00
24	153	3,00
25	164	11,00
26	166	2,00
27	167	1,00



No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	6,5496	142
2	3,3	153
3	1,5	167
INDICE = 6,5496		

TERMINAL 4

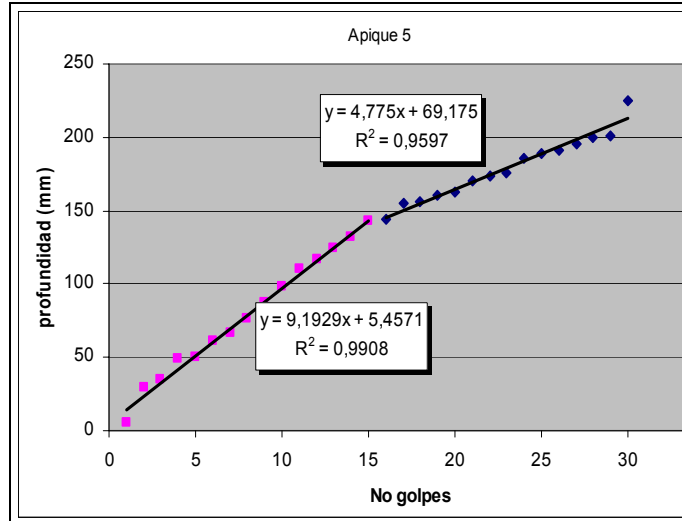
Parte posterior Terminal transportes - avenida 25 de Dic K0 + 160 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	20	20,00
2	33	13,00
3	36	3,00
4	44	8,00
5	47	3,00
6	55	8,00
7	59	4,00
8	65	6,00
9	71	6,00
10	74	3,00
11	81	7,00
12	89	8,00
13	95	6,00
14	101	6,00
15	108	7,00
16	115	7,00
17	120	5,00
18	130	10,00
19	137	7,00
20	144	7,00
21	154	10,00
22	160	6,00
23	175	15,00
24	186	11,00
25	199	13,00
26	208	9,00
27	230	22,00
28	238	8,00
29	245	7,00
30	260	15,00
31	271	11,00
32	282	11,00
33	291	9,00
34	301	10,00



No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	6,3749	160
2	11,2	208
3	10,524	301
INDICE = 6,3749		

TERMINAL 5

Parte posterior Terminal transportes - avenida 25 de Dic K0 + 200 DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	5	5,00
2	30	25,00
3	35	5,00
4	49	14,00
5	50	1,00
6	61	11,00
7	67	6,00
8	76	9,00
9	87	11,00
10	98	11,00
11	110	12,00
12	117	7,00
13	125	8,00
14	132	7,00
15	143	11,00
16	144	1,00
17	155	11,00
18	156	1,00
19	160	4,00
20	163	3,00
21	170	7,00
22	174	4,00
23	176	2,00
24	186	10,00
25	189	3,00
26	191	2,00
27	195	4,00
28	200	5,00
29	201	1,00
30	225	24,00

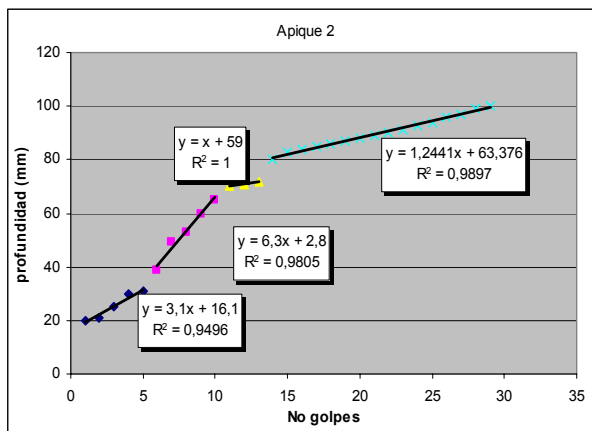


No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	9,1929	143
2	4,775	225
INDICE = 9,1929		

PARQUE 2

DCP 1		
Parque leyenda Vallenata		
2		
DCP		
# of Blow	DCP Prof (mm)	Penet index (mm/Golpe)
0		
1	20	20,00
2	21	1,00
3	25	4,00
4	30	5,00
5	31	1,00
6	39	8,00
7	49	10,00
8	53	4,00
9	60	7,00
10	65	5,00
11	70	5,00

12	71	1,00
13	72	1,00
14	80	8,00
15	83	3,00
16	84	1,00
17	85	1,00
18	86	1,00
19	87	1,00
20	88	1,00
21	89	1,00
22	90	1,00
23	91	1,00
24	93	2,00
25	94	1,00
26	96	2,00
27	97	1,00
28	99	2,00
29	100	1,00



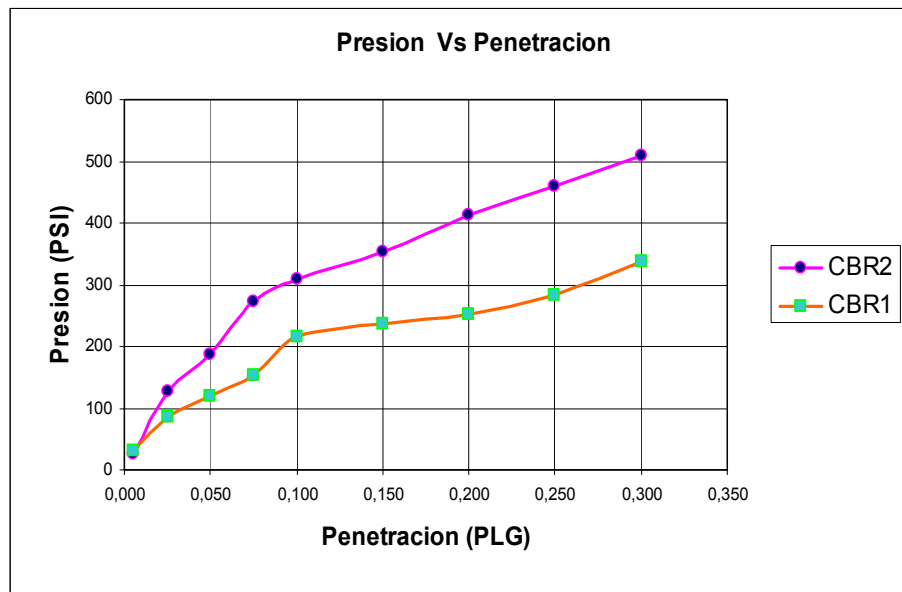
No INDICES	INDICE	prof (mm)
1	3,1	31
2	6,3	65
3	1	72
4	1,2441	100
INDICE = 3,1		

MEMORIA DE ENSAYOS DE CAPACIDAD DE SOPORTE CBR in situ

NORMA DE ENSAYO INV E-169

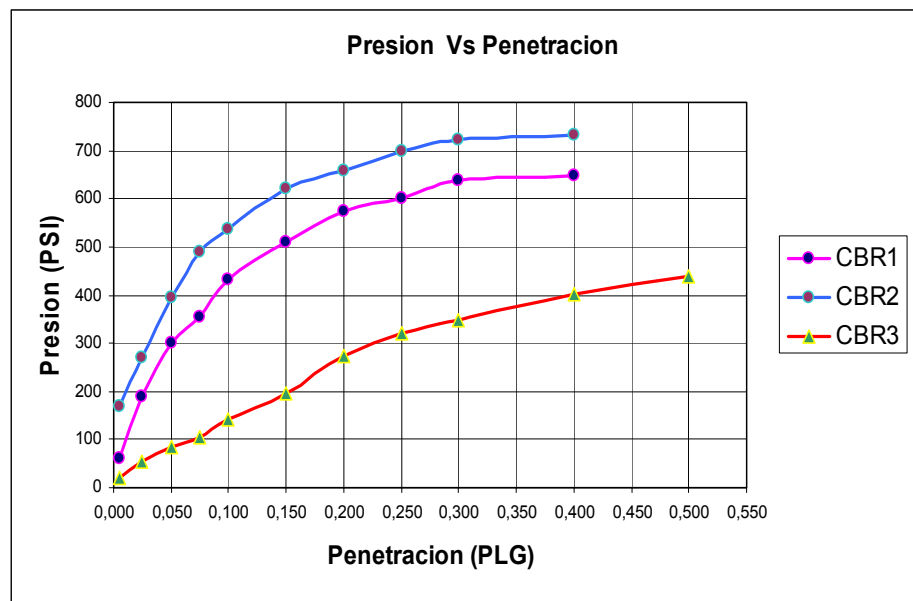
ALTAHONA

LOCALIZACION	LABORATORIOS ALTAINGCIVIL					
NUMERO ANILLO	12,536					
FACT. ANILLO	5,64 *A					
MUESTRA	1			2		
PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi
0,005	17	96	32	14	79	26
0,025	45	254	85	68	384	128
0,050	63	355	118	100	564	188
0,075	81	457	152	145	818	273
0,100	114	643	214	165	931	310
0,150	126	711	237	188	1.060	353
0,200	134	756	252	220	1.241	414
0,250	150	846	282	245	1.382	461
0,300	179	1.010	337	271	1.528	509
HUMEDAD PENETRACION %						
C. B. R. CORREG. a 0,1"	21,43			31,02		
C. B. R. CORREG. a 0,2"	16,79			27,57		



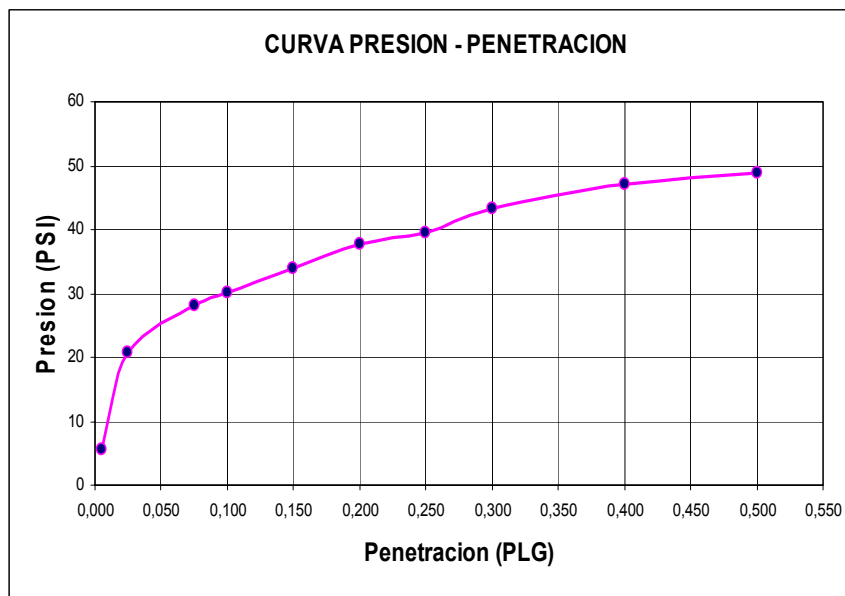
FABRICA

LOCALIZACION	FABRICA CONCRETOS LACERA								
NUMERO ANILLO	12,536								
FACT. ANILLO	5,64 *A								
MUESTRA	1			2			3		
PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi
0,005	33	186	62	90	508	169	11	62	21
0,025	100	564	188	143	807	269	29	164	55
0,050	159	897	299	210	1.184	395	45	254	85
0,075	189	1.066	355	260	1.466	489	55	310	103
0,100	229	1.292	431	285	1.607	536	75	423	141
0,150	271	1.528	509	330	1.861	620	105	592	197
0,200	305	1.720	573	350	1.974	658	145	818	273
0,250	320	1.805	602	371	2.092	697	170	959	320
0,300	340	1.918	639	385	2.171	724	185	1.043	348
0,400	345	1.946	649	390	2.200	733	214	1.207	402
0,500		0	0		0	0	234	1.320	440
HUMEDAD PENETRACION %									
C. B. R. CORREG. a 0,1"	43,05			53,58			14,10		
C. B. R. CORREG. a 0,2"	38,23			43,87			18,17		



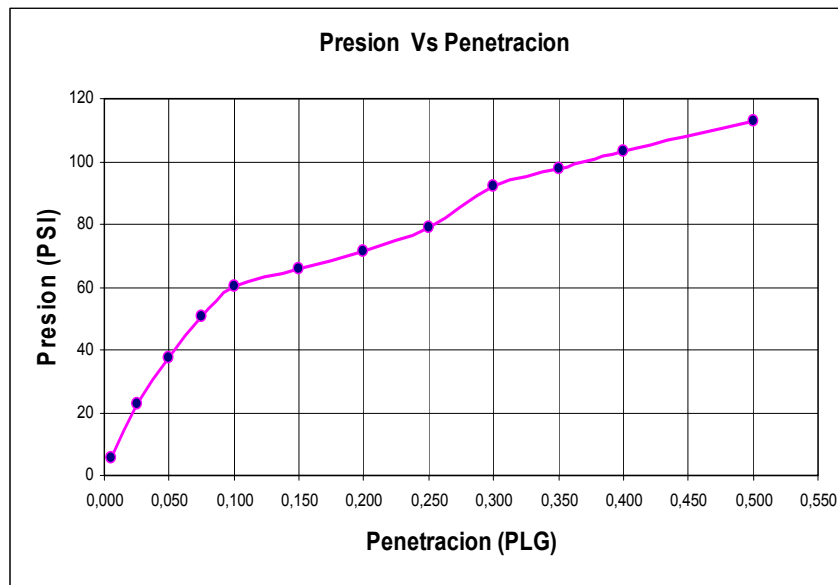
CASA

LOCALIZACION	VILLA CASTRO. CALLE 20E No 3-36					
NUMERO ANILLO	12,536					
FACT. ANILLO	5,64 *A					
MUESTRA	1					
PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi
0,005	3	17	6			
0,025	11	62	21			
0,075	15	85	28			
0,100	16	90	30			
0,150	18	102	34			
0,200	20	113	38			
0,250	21	118	39			
0,300	23	130	43			
0,400	25	141	47			
0,500	26	147	49			
HUMEDAD PENETRACION %						
C. B. R. CORREG. a 0,1"	3,01					
C. B. R. CORREG. a 0,2"	3,76					



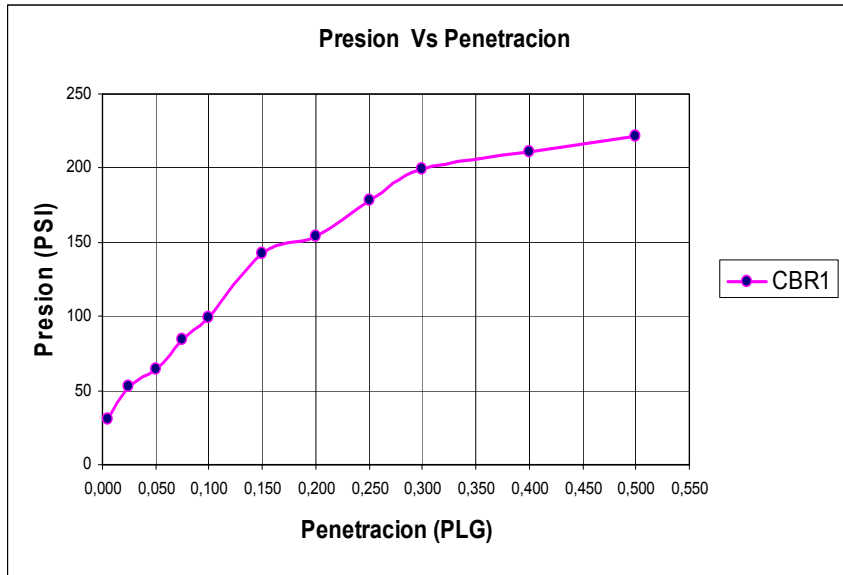
ANEXO COLOPERENA CRA 4ª CON 30

LOCALIZACION	CASA					
NUMERO ANILLO	12,536					
FACT. ANILLO	5,64 *A					
MUESTRA	1					
PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi
0,005	3	17	6			
0,025	12	68	23			
0,050	20	113	38			
0,075	27	152	51			
0,100	32	180	60			
0,150	35	197	66			
0,200	38	214	71			
0,250	42	237	79			
0,300	49	276	92			
0,350	52	293	98			
0,400	55	310	103			
0,500	60	338	113			
HUMEDAD PENETRACION %	12,536					
C. B. R. CORREG. a 0,1"	6,02					
C. B. R. CORREG. a 0,2"	4,76					



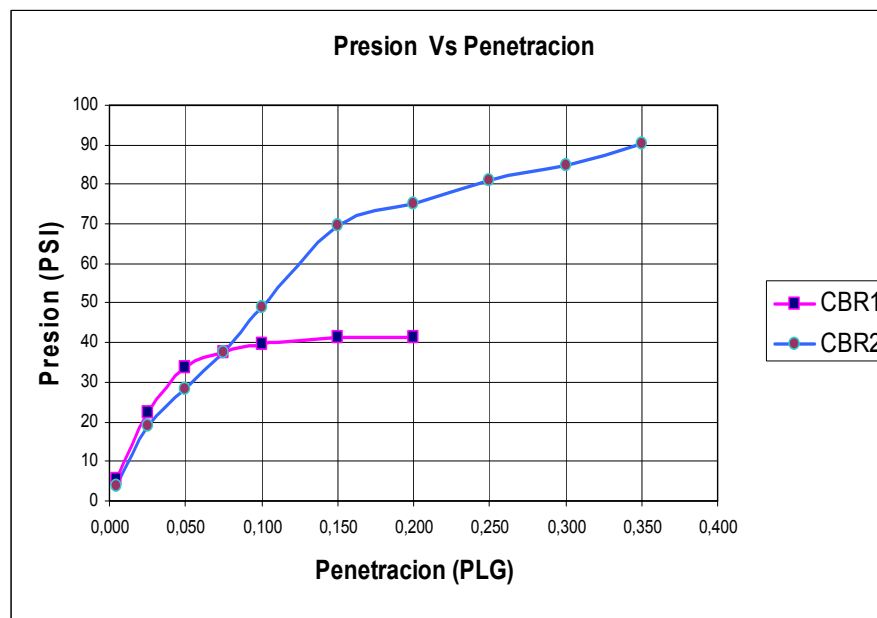
COLEGIO DE LA POLICIA (Ntra. Sra. Fátima)

LOCALIZACION	VIA FRENTE AL COLEGIO DE LA POLICIA CII28					
NUMERO ANILLO	12,536					
FACT. ANILLO	5,64 *A					
MUESTRA	1			2		
PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi
0,005	16	90	30			
0,025	28	158	53			
0,050	34	192	64			
0,075	45	254	85			
0,100	53	299	100			
0,150	76	429	143			
0,200	82	462	154			
0,250	95	536	179			
0,300	106	598	199			
0,400	112	632	211			
0,500	118	666	222			
HUMEDAD PENETRACION %	12,92					
C. B. R. CORREG. a 0,1"	9,96					
C. B. R. CORREG. a 0,2"	10,28					



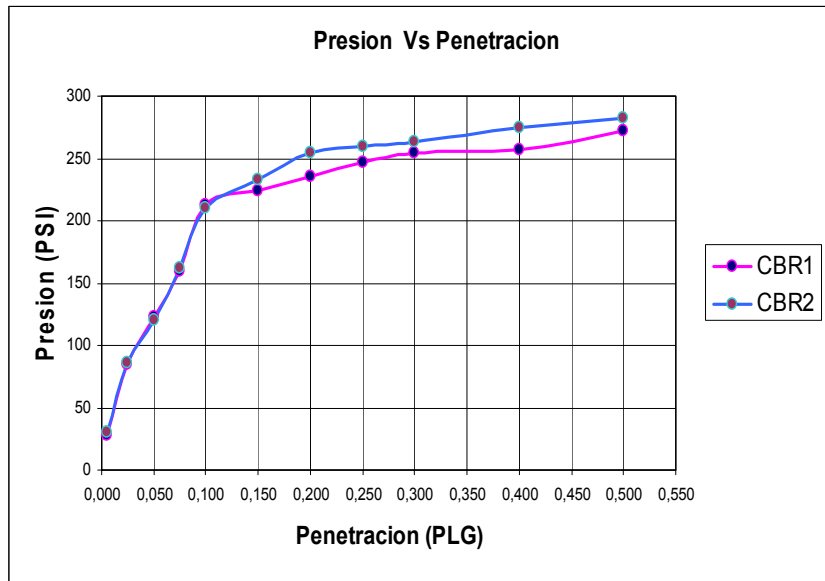
MAYALES

LOCALIZACION	VIA SIN PAVIMENTAR BARRIO LOS MAYALES					
NUMERO ANILLO	12,536					
FACT. ANILLO	5,64 *A					
MUESTRA	1			2		
PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi
0,005	3	17	6	2	11	4
0,025	12	68	23	10	56	19
0,050	18	102	34	15	85	28
0,075	20	113	38	20	113	38
0,100	21	118	39	26	147	49
0,150	22	124	41	37	209	70
0,200	22	124	41	40	226	75
0,250	10	56	19	43	243	81
0,300	6	34	11	45	254	85
0,350	5	28	9	48	271	90
0,400	8	45	15		0	0
0,500	15	85	28		0	0
HUMEDAD PENETRACION %	14,93			14,93		
C. B. R. CORREG. a 0,1"	3,95			4,89		
C. B. R. CORREG. a 0,2"	2,76			5,01		



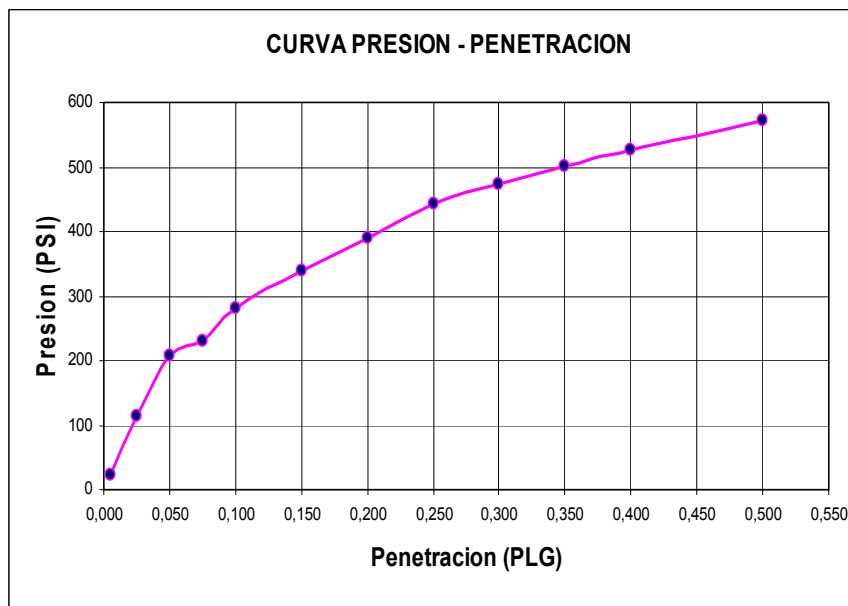
PANAMÁ

LOCALIZACION	VIA SIN PAVIMENTAR BARRIO PANAMA					
NUMERO ANILLO	12,536					
FACT. ANILLO	5,64 *A					
MUESTRA	1			2		
PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi
0,005	15	85	28	16	90	30
0,025	45	254	85	46	259	86
0,050	65	367	122	64	361	120
0,075	85	479	160	86	485	162
0,100	113	637	212	112	632	211
0,150	119	671	224	124	699	233
0,200	125	705	235	135	761	254
0,250	131	739	246	138	778	259
0,300	135	761	254	140	790	263
0,400	137	773	258	146	823	274
0,500	145	818	273	150	846	282
HUMEDAD PENETRACION %	4,31			4,31		
C. B. R. CORREG. a 0,1"	21,24			21,06		
C. B. R. CORREG. a 0,2"	15,67			16,92		



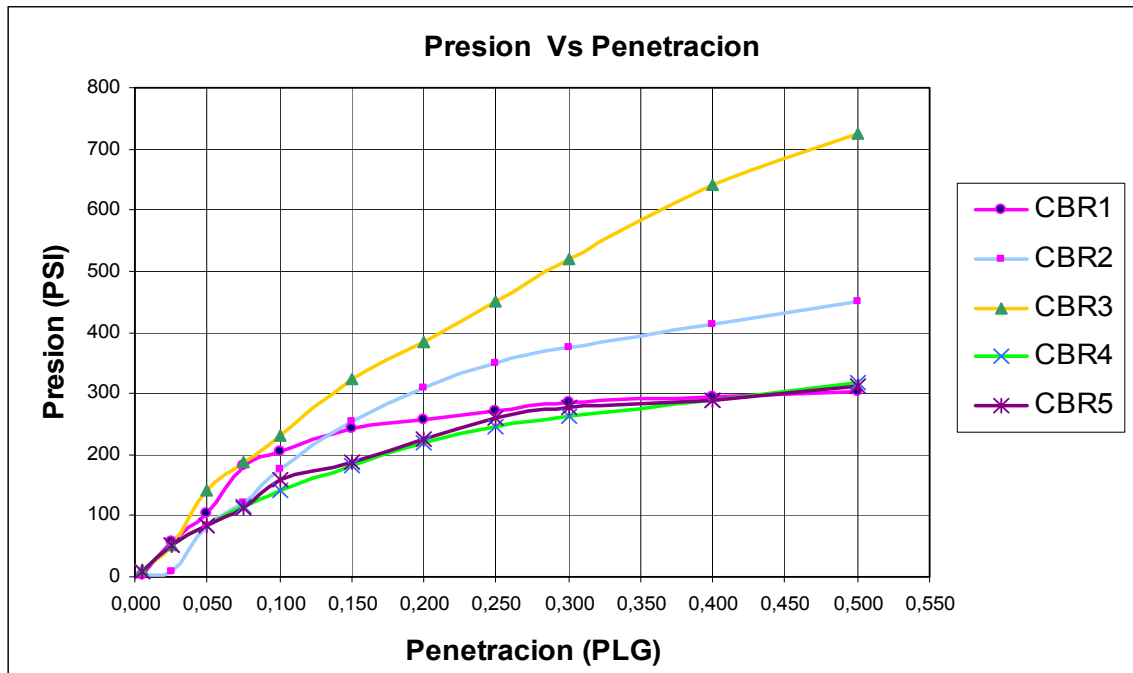
SIMON BOLIVAR

LOCALIZACION	FRENTE A LA RESIDENCIA DEL BARRIO SIMON BOLIVAR					
NUMERO ANILLO	12,536					
FACT. ANILLO	5,64 *A					
MUESTRA	1			2		
PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esfuerzo Psi
0,005	12	68	23			
0,025	60	338	113			
0,050	110	620	207			
0,075	122	688	229			
0,100	150	846	282			
0,150	180	1.015	338			
0,200	208	1.173	391			
0,250	235	1.325	442			
0,300	252	1.421	474			
0,350	267	1.506	502			
0,400	280	1.579	526			
0,500	305	1.720	573			
HUMEDAD PENETRACION %						
C. B. R. CORREG. a 0,1"	28,20					
C. B. R. CORREG. a 0,2"	26,07					



TERMINAL

LOCALIZACION	CASA															
NUMERO ANILLO	12,536															
FACT. ANILLO	5,64 *A															
MUESTRA	1		2		3		4		5							
PENETRACION PULGADAS	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esf. Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esf. Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esf. Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esf. Psi	Carga 0,0001"	Carga Lbs.	Esf. Psi	
0,005	2	11	4	1	6	2	6	34	11	5	28	9	5	28	9	
0,025	30	169	56	5	28	9	27	152	51	27	152	51	28	158	53	
0,050	55	310	103	45	254	85	75	423	141	45	254	85	45	254	85	
0,075	97	547	182	65	367	122	100	564	188	61	344	115	60	338	113	
0,100	109	615	205	93	525	175	123	694	231	75	423	141	84	474	158	
0,150	129	728	243	135	761	254	172	970	323	97	547	182	100	564	188	
0,200	137	773	258	165	931	310	205	1.156	385	116	654	218	120	677	226	
0,250	145	818	273	186	1.049	350	239	1.348	449	130	733	244	139	784	261	
0,300	152	857	286	200	1.128	376	277	1.562	521	140	790	263	148	835	278	
0,400	156	880	293	220	1.241	414	341	1.923	641	153	863	288	154	869	290	
0,500	162	914	305	239	1.348	449	385	2.171	724	169	953	318	166	936	312	
HUMEDAD %																
CBR. CORR. 0,1"	20,49		17,48		23,12		14,10		15,79							
CBR. CORR. 0,2"	17,17		20,68		25,69		14,54		15,04							



MEMORIA DE LOS ENSAYOS DE DENSIDAD DE CONO Y ARENA

NORMA DE ENSAYO INV E-161

ALTAHONA

PROFUNDIDAD	cm	1 apique	2 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	6046,0	6030,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	3042,0	2690,0
Peso total arena usada	grs	3004,0	3340,0
Constante del cono	grs	1384,5	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1619,5	1955,5
Densidad de la arena	grs/cm³	1,44	1,44
Volúmen del hueco	cm³	1124,7	1358,0
Peso del material extraído húmedo	grs	2094,0	2094,0
Humedad	%	3,85	3,85
Peso material extraído seco	grs	2016,4	2457,0
Densidad seca	grs/cm³	1,79	1,81
Densidad seca	lbs/pie³	111,88	112,90
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie³		
Compactación terreno	%		

FABRICA

PROFUNDIDAD	cm	1 apique	2 apique	3 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	6023,0	5952,0	5874,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	3080,0	3237,0	3158,9
Peso total arena usada	grs	2943,0	2715,0	2715,1
Constante del cono	grs	1384,5	1384,5	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1558,5	1330,5	1330,6
Densidad de la arena	grs/cm³	1,44	1,44	1,44
Volúmen del hueco	cm³	1082,3	924,0	924,0
Peso del material extraído húmedo	grs	1854,8	1627,6	1626,8
Humedad	%	4,31	4,33	9,22
Peso material extraído seco	grs	1778,1	1560,1	1489,5
Densidad seca	grs/cm³	1,64	1,69	1,61
Densidad seca	lbs/pie³	102,52	105,36	100,59
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie³			
Compactación terreno	%			

CASA

PROFUNDIDAD	cm	1 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	5894,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	2998,0
Peso total arena usada	grs	2896,0
Constante del cono	grs	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1511,5
Densidad de la arena	grs/cm ³	1,44
Volúmen del hueco	cm ³	1049,7
Peso del material extraído húmedo	grs	1602,0
Humedad	%	14,07
Peso material extraído seco	grs	1404,4
Densidad seca	grs/cm ³	1,34
Densidad seca	lbs/pie ³	83,49
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie ³	
Compactación terreno	%	

CRA 4ª CON 30

PROFUNDIDAD	cm	1 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	5485,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	2748,0
Peso total arena usada	grs	2737,0
Constante del cono	grs	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1352,5
Densidad de la arena	grs/cm ³	1,44
Volúmen del hueco	cm ³	939,2
Peso del material extraído húmedo	grs	1580,0
Humedad	%	12,92
Peso material extraído seco	grs	1399,2
Densidad seca	grs/cm ³	1,49
Densidad seca	lbs/pie ³	92,96
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie ³	
Compactación terreno	%	

POLICIA

PROFUNDIDAD	cm	1 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	5479,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	2349,0
Peso total arena usada	grs	3130,0
Constante del cono	grs	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1745,5
Densidad de la arena	grs/cm ³	1,44
Volúmen del hueco	cm ³	1212,2
Peso del material extraído húmedo	grs	1798,0
Humedad	%	12,16
Peso material extraído seco	grs	1603,1
Densidad seca	grs/cm ³	1,32
Densidad seca	lbs/pie ³	82,52
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie ³	
Compactación terreno	%	

MAYALES

PROFUNDIDAD	cm	1 apique	2 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	6312,0	6205,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	3105,0	3127,6
Peso total arena usada	grs	3207,0	3077,4
Constante del cono	grs	1384,5	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1822,5	1692,9
Densidad de la arena	grs/cm ³	1,44	1,44
Volúmen del hueco	cm ³	1265,6	1175,6
Peso del material extraído húmedo	grs	2150,0	1997,0
Humedad	%	14,93	13,67
Peso material extraído seco	grs	1870,7	1756,8
Densidad seca	grs/cm ³	1,48	1,49
Densidad seca	lbs/pie ³	92,23	93,25
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie ³		
Compactación terreno	%		

PANAMÁ

PROFUNDIDAD	cm	1 apique	2 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	5666,0	5469,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	2741,0	2723,0
Peso total arena usada	grs	2925,0	2746,0
Constante del cono	grs	1384,5	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1540,5	1361,5
Densidad de la arena	grs/cm³	1,44	1,44
Volúmen del hueco	cm³	1069,8	945,5
Peso del material extraído húmedo	grs	1720,0	1520,0
Humedad	%	4,31	4,31
Peso material extraído seco	grs	1648,9	1457,2
Densidad seca	grs/cm³	1,54	1,54
Densidad seca	lbs/pie³	96,18	96,17
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie³		
Compactación terreno	%		

SIMON BOLIVAR

PROFUNDIDAD	cm	1 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	5534,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	2543,0
Peso total arena usada	grs	2991,0
Constante del cono	grs	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1606,5
Densidad de la arena	grs/cm³	1,44
Volúmen del hueco	cm³	1115,6
Peso del material extraído húmedo	grs	1938,0
Humedad	%	6,73
Peso material extraído seco	grs	1815,8
Densidad seca	grs/cm³	1,63
Densidad seca	lbs/pie³	101,56
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie³	
Compactación terreno	%	

TERMINAL

PROFUNDIDAD	cm	1 apique	2 apique	3 apique	4 apique	5 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	5572,0	5461,0	5243,0	5134,0	5013,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	2521,0	2504,0	2299,5	2250,1	2198,0
Peso total arena usada	grs	3051,0	2957,0	2943,5	2883,9	2815,0
Constante del cono	grs	1384,5	1384,5	1384,5	1384,5	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1666,5	1572,5	1559,0	1499,4	1430,5
Densidad de la arena	grs/cm³	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Volúmen del hueco	cm³	1157,3	1092,0	1082,6	1041,2	993,4
Peso del material extraído húmedo	grs	1984,0	1872,0	1856,0	1785,0	1703,0
Humedad	%	5,86	7,66	3,15	6,59	5,81
Peso material extraído seco	grs	1874,2	1738,8	1799,3	1674,6	1609,5
Densidad seca	grs/cm³	1,62	1,59	1,66	1,61	1,62
Densidad seca	lbs/pie³	101,05	99,36	103,71	100,36	101,10
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie³					
Compactación terreno	%					

PARQUE

PROFUNDIDAD	cm	1 apique	2 apique
Peso frasco +cono+arena inicial	grs	5491,0	5412,0
Peso frasco +cono+arena final	grs	2671,0	2661,6
Peso total arena usada	grs	2820,0	2750,4
Constante del cono	grs	1384,5	1384,5
Peso arena en el hueco	grs	1435,5	1365,9
Densidad de la arena	grs/cm³	1,44	1,44
Volúmen del hueco	cm³	996,9	948,5
Peso del material extraído húmedo	grs	1834,0	1745,0
Humedad	%	8,30	1,79
Peso material extraído seco	grs	1693,4	1714,3
Densidad seca	grs/cm³	1,70	1,81
Densidad seca	lbs/pie³	106,00	112,78
Densidad máxima en el laboratorio	lbs/pie³		

MEMORIA DE LOS ENSAYOS PARA EL CALCULO DE HUMEDAD

NORMA: I.N.V. E-122

ALTAHONA

MUESTRA N°	1	2
FECHA TOMA DE MUESTRA		
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10	0.0 -0.11
RECIPIENTE N°	1	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	66,5	78,1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	64,6	75,9
PESO DEL AGUA (gr)	1,9	2,2
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	15,2	15,0
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	49,4	60,9
HUMEDAD (%)	3,85	3,56

FABRICA

MUESTRA N°	1	2
FECHA TOMA DE MUESTRA		
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10	0.0 -0.11
RECIPIENTE N°	1	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	66,5	78,1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	64,6	75,9
PESO DEL AGUA (gr)	1,9	2,2
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	15,2	15,0
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	49,4	60,9
HUMEDAD (%)	3,85	3,56

CASA

MUESTRA N°	1
FECHA TOMA DE MUESTRA	agosto 17 de 2005
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10
RECIPIENTE N°	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	230,8
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	206,1
PESO DEL AGUA (gr)	24,7
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	30,2
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	175,9
HUMEDAD (%)	14,07

CRA 4ª CON 30

MUESTRA N°	1
FECHA TOMA DE MUESTRA	agosto 18 de 2005
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10
RECIPIENTE N°	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	291,2
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	261,3
PESO DEL AGUA (gr)	29,9
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	30,2
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	231,1
HUMEDAD (%)	12,92

POLICIA

MUESTRA N°	1
FECHA TOMA DE MUESTRA	agosto 29 de 2005
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10
RECIPIENTE N°	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	206,8
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	187,7
PESO DEL AGUA (gr)	19,1
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	30,2
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	157,5
HUMEDAD (%)	12,16

MAYALES

MUESTRA N°	1	2
FECHA TOMA DE MUESTRA	agosto 25 de 2005	agosto 25 de 2005
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10	0.0 -0.11
RECIPIENTE N°	1	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	392	254
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	345,0	226,5
PESO DEL AGUA (gr)	47,0	27,5
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	30,2	25,0
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	314,8	201,5
HUMEDAD (%)	14,93	13,67

PANAMÁ

MUESTRA N°	1	2
FECHA TOMA DE MUESTRA	agosto 29 de 2005	agosto 29 de 2005
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10	0.0 -0.11
RECIPIENTE N°	1	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	260	241,3
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	250,5	231,0
PESO DEL AGUA (gr)	9,5	10,3
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	30,2	25,0
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	220,3	206,0
HUMEDAD (%)	4,31	5,02

SIMON BOLIVAR

MUESTRA N°	1
FECHA TOMA DE MUESTRA	agosto 29 de 2005
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10
RECIPIENTE N°	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	269,6
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	254,5
PESO DEL AGUA (gr)	15,1
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	30,2
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	224,3
HUMEDAD (%)	6,73

TERMINAL

MUESTRA N°	1	2	3	4	5
FECHA TOMA DE MUESTRA	SEP 07/2005	SEP 15/2005	SEP 15/2005	SEP 15/2005	SEP 15/2005
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10	0,0 - 0,15	0,0 - 0,15	0,0 - 0,15	0,0 - 0,15
RECIPIENTE N°	1	1	1	1	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	503,9	493,3	573,4	411,4	429,7
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	485,1	469,8	560,8	396,1	415,1
PESO DEL AGUA (gr)	18,8	23,5	12,6	15,3	14,6
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	164,3	163,6	162,0	164,0	163,0
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	320,8	306,2	398,8	232,1	252,1
HUMEDAD (%)	5,86	7,66	3,15	6,59	5,81

PARQUE

MUESTRA N°	1	2
FECHA TOMA DE MUESTRA	SEP 20/2005	SEP 20/2006
PROFUNDIDAD (m)	0.0 -0.10	0.0 -0.11
RECIPIENTE N°	1	1
PESO RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDA (gr)	426,3	346
PESO RECIPIENTE + MUESTRA SECA (gr)	406,2	342,8
PESO DEL AGUA (gr)	20,1	3,2
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	164,3	164,0
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	241,9	178,8
HUMEDAD (%)	8,30	1,79

MEMORIA DE LOS ENSAYOS DE CLASIFICACION GRANULOMETRICA

ALTAHONA

DESCRIPCION: arena limosa bien gradada

ANALISIS GRANULOMETRICO			
P ₁ = 1025,6 g		P ₂ = 939,4 g	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	39,7	3,9	96,1
1/2"	125,5	12,2	83,9
3/8"	101,4	9,9	74,0
No.4	100,1	9,8	64,2
No. 10	133,9	13,1	51,2
No. 40	269,7	26,3	24,9
No. 200	169,1	16,5	8,4
FONDO :	86,2	8,4	
SUMATORIA :	1025,6	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
35,8	55,8	8,4

LIMITE LIQUIDO	0,0	I. DE GRUPO	0,7
LIMITE PLASTICO	0,0	A.A.S.H.O.	A-1b
IND. PLASTICIDAD	NP	U.S.C.	SW - SM

FABRICA

DESCRIPCION: Arena limosa

ANALISIS GRANULOMETRICO			
	P ₁ =	775,3 g	P ₂ = 389,2 g
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No.4	2,5	0,3	99,7
No. 10	6,0	0,8	98,9
No. 40	132,0	17,0	81,9
No. 200	248,7	32,1	49,8
FONDO :	386,1	49,8	
SUMATORIA :	775,3	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
0,3	49,9	49,8

LIMITE LIQUIDO	0,0	I. DE GRUPO	0,0
LIMITE PLASTICO	0,0	A.A.S.H.O.	A-4
IND. PLASTICIDAD	NP	U.S.C.	SM

CASA

DESCRIPCION: Arena limosa (finos no plasticos)

ANALISIS GRANULOMETRICO			
	P ₁ =	834,4 g	P ₂ = 659,1 g
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	14,2	1,7	98,3
3/8"	3,8	0,5	97,8
No.4	4,4	0,5	97,3
No. 10	30,5	3,7	93,7
No. 40	313,4	37,6	56,1
No. 200	292,8	35,1	21,0
FONDO :	175,3	21,0	
SUMATORIA :	834,4	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
2,7	76,3	21,0

LIMITE LIQUIDO	0,0	I. DE GRUPO	0,0
LIMITE PLASTICO	0,0	A.A.S.H.O.	A-2-4
IND. PLASTICIDAD	NP	U.S.C.	SM

CRA 4ª CON 30

ANALISIS GRANULOMETRICO			
	P ₁ =	774,6 g	P ₂ = 387,9 g
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No.4	1,1	0,1	99,9
No. 10	7,6	1,0	98,9
No. 40	169,3	21,9	77,0
No. 200	209,9	27,1	49,9
FONDO :	386,7	49,9	
SUMATORIA :	774,6	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
0,1	49,94	49,92

LIMITE LIQUIDO	22,2	I. DE GRUPO	3,6
LIMITE PLASTICO	15,4	A.A.S.H.O.	A-4
IND. PLASTICIDAD	6,7	U.S.C.	SM - SC

POLICIA

DESCRIPCION: arena limosa negra, con alto volumen de material organico

ANALISIS GRANULOMETRICO				
	P ₁ =	764,0 g	P ₂ =	461,9 g
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)	
2 1/2"	0,0	0,0	100,0	
2"	0,0	0,0	100,0	
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0	
1"	0,0	0,0	100,0	
3/4"	0,0	0,0	100,0	
1/2"	58,7	7,7	92,3	
3/8"	19,4	2,5	89,8	
No.4	52,5	6,9	82,9	
No. 10	50,4	6,6	76,3	
No. 40	75,1	9,8	66,5	
No. 200	205,8	26,9	39,5	
FONDO :	302,1	39,5		
SUMATORIA :	764,0	100,0		
ERROR :	0,0	Bien		

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
17,1	43,4	39,5

LIMITE LIQUIDO	17,1	I. DE GRUPO	1,7
LIMITE PLASTICO	15,2	A.A.S.H.O.	A-4
IND. PLASTICIDAD	1,8	U.S.C.	SM

MAYALES

DESCRIPCION: Arena limosa (finos no plasticos) bien gradada

ANALISIS GRANULOMETRICO			
	P ₁ =	816,1 g	P ₂ = 732,8 g
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No.4	1,2	0,1	99,9
No. 10	3,7	0,5	99,4
No. 40	209,5	25,7	73,7
No. 200	518,4	63,5	10,2
FONDO :	83,3	10,2	
SUMATORIA :	816,1	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
0,1	89,6	10,2

LIMITE LIQUIDO	0,0	I. DE GRUPO	0,5
LIMITE PLASTICO	0,0	A.A.S.H.O.	A-2-4
IND. PLASTICIDAD	NP	U.S.C.	SW-SM

PANAMÁ

DESCRIPCION: arena limosa de baja plasticidad color amarillo ocre con poco mat org

ANALISIS GRANULOMETRICO			
	P ₁ =	714,1 g	P ₂ = 367,0 g
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No.4	0,0	0,0	100,0
No. 10	1,4	0,2	99,8
No. 40	151,8	21,3	78,5
No. 200	213,8	29,9	48,6
FONDO :	347,1	48,6	
SUMATORIA :	714,1	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
0,0	51,4	48,6

LIMITE LIQUIDO	21,6	I. DE GRUPO	4,8
LIMITE PLASTICO	20,0	A.A.S.H.O.	A-4
IND. PLASTICIDAD	1,6	U.S.C.	SM

SIMON BOLIVAR

DESCRIPCION: arena limosa de color gris y apreciable volumen de finos

ANALISIS GRANULOMETRICO			
	P ₁ =	796,2 g	P ₂ = 695,3 g
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	13,4	1,7	98,3
1/2"	5,3	0,7	97,7
3/8"	11,2	1,4	96,2
No.4	21,1	2,7	93,6
No. 10	69,6	8,7	84,9
No. 40	341,5	42,9	42,0
No. 200	233,2	29,3	12,7
FONDO :	100,9	12,7	
SUMATORIA :	796,2	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
6,4	80,9	12,7

LIMITE LIQUIDO	0,0	I. DE GRUPO	0,2
LIMITE PLASTICO	0,0	A.A.S.H.O.	A-1b
IND. PLASTICIDAD	NP	U.S.C.	SM

TERMINAL

DESCRIPCION: Arena limosa de baja plasticidad color amarillo ocre con apreciable mat org

ANALISIS GRANULOMETRICO			
	P ₁ = 656,3 g	P ₂ = 388,3 g	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No.4	0,0	0,0	100,0
No. 10	5,2	0,8	99,2
No. 40	166,7	25,4	73,8
No. 200	216,4	33,0	40,8
FONDO :	268,0	40,8	
SUMATORIA :	656,3	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
0,0	59,2	40,8

LIMITE LIQUIDO	19,6	I. DE GRUPO	2,2
LIMITE PLASTICO	16,3	A.A.S.H.O.	A-4
IND. PLASTICIDAD	3,3	U.S.C.	SM

PARQUE 1

DESCRIPCION: grava areno limosa.

ANALISIS GRANULOMETRICO			
P ₁ = 1559,1 g		P ₂ = 1336,1 g	
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	231,5	14,8	85,2
3/4"	212,9	13,7	71,5
1/2"	224,0	14,4	57,1
3/8"	119,8	7,7	49,4
No.4	130,1	8,3	41,1
No. 10	108,3	6,9	34,2
No. 40	107,4	6,9	27,3
No. 200	202,1	13,0	14,3
FONDO :	223,0	14,3	
SUMATORIA :	1559,1	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
58,9	26,8	14,3

LIMITE LIQUIDO	0,0	I. DE GRUPO	0,1
LIMITE PLASTICO	0,0	A.A.S.H.O.	A-1a
IND. PLASTICIDAD	NP	U.S.C.	GM

PARQUE 2

DESCRIPCION: arena limosa

ANALISIS GRANULOMETRICO			
	P ₁ =	759,2 g	P ₂ = 490,5 g
TAMIZ	PESO RET. (grs)	PORCENT RET. (%)	PORCENT PASA (%)
2 1/2"	0,0	0,0	100,0
2"	0,0	0,0	100,0
1 1/2 "	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	100,0
3/4"	0,0	0,0	100,0
1/2"	0,0	0,0	100,0
3/8"	0,0	0,0	100,0
No.4	3,7	0,5	99,5
No. 10	14,6	1,9	97,6
No. 40	121,0	15,9	81,7
No. 200	351,2	46,3	35,4
FONDO :	268,7	35,4	
SUMATORIA :	759,2	100,0	
ERROR :	0,0	Bien	

GRAVA (%)	ARENA(%)	PASA/200
0,5	64,1	35,4

LIMITE LIQUIDO	0,0	I. DE GRUPO	0,0
LIMITE PLASTICO	0,0	A.A.S.H.O.	A-2-4
IND. PLASTICIDAD	NP	U.S.C.	SM

MEMORIA DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Clasificacion		Densidad Seca grs/cm ³	Humedad %	DCP (mm/golpe)	CBR campo %	CBR correlacion	Livneh 1987 Granular and cohesive	Harison (1987) Granular and cohesive	Livneh et al. (1992) Granular and cohesive	Webster et al. (1992) Various soil types	Kleyn (1975) Unknown	Ese et al. (1995) Aggregate base course	NCDOT (Pavement, 1998) Aggregate base course and cohesive	Coonse (1999) Piedmont residual soil
A.A.S.H.O	U.S.C			A =		2,13	2,56	2,55	2,45	2,46	2,62	2,44	2,60	2,53
				B =		-1,11	-1,16	-1,14	-1,12	-1,12	-1,27	-1,07	-1,07	-1,14
A-1b	SW - SM	1,79	3,85	3,20	21,43	36,95	94,19	94,22	76,60	78,38	95,16	79,34	114,68	89,98
A-1b	SW - SM	1,81	3,56	2,31	31,02	53,09	137,39	136,54	110,29	112,86	143,86	112,39	162,45	130,39
A-4	SM	1,64	4,31	3,20	43,05	36,95	94,19	94,22	76,60	78,38	95,16	79,34	114,68	89,98
A-4	SM	1,69	4,33	3,62	53,58	32,23	81,70	81,92	66,77	68,32	81,43	69,58	100,57	78,23
A-4	SM	1,61	9,22	7,28	18,17	14,80	36,33	36,94	30,53	31,24	33,53	32,95	47,62	35,27
A-2-4	SM	1,34	14,07	13,87	3,76	7,22	17,19	17,71	14,82	15,17	14,78	16,52	23,88	16,91
A-4	SM-SC	1,49	12,92	13,94	6,02	7,18	17,09	17,61	14,74	15,09	14,69	16,44	23,76	16,81
A-4	SM	1,32	12,16	13,16	10,28	7,66	18,27	18,80	15,73	16,09	15,80	17,48	25,27	17,96
A-2-4	SW - SM	1,48	14,93	24,50	3,95	3,83	8,88	9,25	7,84	8,02	7,17	8,99	12,99	8,84
A-2-4	SW - SM	1,49	13,67	15,41	5,01	6,42	15,21	15,70	13,18	13,48	12,93	14,76	21,34	15,00
A-4	SM	1,54	4,31	6,03	21,24	18,25	45,17	45,75	37,67	38,55	42,56	40,28	58,22	43,70
A-4	SM	1,54	5,02	6,09	21,06	18,05	44,66	45,25	37,26	38,13	42,03	39,86	57,61	43,21
A-1b	SM	1,63	6,73	4,09	28,20	28,13	70,89	71,26	58,22	59,57	69,72	61,04	88,23	68,05
A-4	SM	1,62	5,86	5,99	20,49	18,39	45,52	46,11	37,96	38,84	42,93	40,57	58,64	44,03
A-4	SM	1,59	7,66	4,08	20,68	28,22	71,14	71,50	58,42	59,78	69,98	61,24	88,52	68,28
A-4	SM	1,66	3,15	6,55	25,69	16,64	41,04	41,64	34,34	35,14	38,32	36,87	53,29	39,77
A-4	SM	1,61	6,59	6,37	14,54	17,15	42,35	42,94	35,40	36,22	39,66	37,95	54,85	41,01
A-4	SM	1,62	5,81	9,19	15,79	11,41	27,69	28,29	23,49	24,04	24,91	25,65	37,08	27,02
A-1a	GM	1,70	8,30	5,00	11,28	22,48	56,13	56,65	46,47	47,55	53,99	49,22	71,14	54,10
A-2-4	SM	1,81	1,79	3,10	50,01	38,28	97,73	97,69	79,37	81,22	99,08	82,08	118,64	93,29

$$\text{Log (CBR)} = a_0 + a_1 * \text{Log DCP}$$

Muestra	Log CBR campo	Log DCP (mm/golpe)						
	Yi	Xi	Xi ²	Xi*Yi	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	(Yi - Yci)
Altaho 1	1,33	0,51	0,26	0,67	0,01	1,57	0,06	0,24
Altaho 2	1,49	0,36	0,13	0,54	0,07	1,73	0,05	0,23
Fabrica1	1,63	0,51	0,26	0,83	0,17	1,57	0,00	0,07
Fabrica2	1,73	0,56	0,31	0,97	0,25	1,51	0,05	0,22
Fabrica3	1,26	0,86	0,74	1,09	0,00	1,17	0,01	0,09
casa	0,58	1,14	1,30	0,66	0,42	0,86	0,08	0,28
cra4-30	0,78	1,14	1,31	0,89	0,20	0,86	0,01	0,08
Policia	1,01	1,12	1,25	1,13	0,05	0,88	0,02	0,13
Mya1	0,60	1,39	1,93	0,83	0,40	0,58	0,00	0,01
Mya2	0,70	1,19	1,41	0,83	0,28	0,81	0,01	0,11
pana1	1,33	0,78	0,61	1,04	0,01	1,26	0,00	0,07
pana2	1,32	0,78	0,62	1,04	0,01	1,26	0,00	0,07
simon	1,45	0,61	0,37	0,89	0,05	1,45	0,00	0,00
terminal 1	1,31	0,78	0,60	1,02	0,01	1,26	0,00	0,05
terminal 2	1,32	0,61	0,37	0,80	0,01	1,45	0,02	0,14
terminal 3	1,41	0,82	0,67	1,15	0,03	1,22	0,04	0,19
terminal 4	1,16	0,80	0,65	0,94	0,00	1,23	0,01	0,07
terminal 5	1,20	0,96	0,93	1,15	0,00	1,06	0,02	0,14
parque2	1,70	0,49	0,24	0,83	0,22	1,58	0,01	0,12
$\Sigma =$	23,31	15,42	13,96	17,29	2,19		0,39	
Yp =	1,23							

Regresión Por Mínimos Cuadrados

a ₀ =	2,130
a ₁ =	-1,114
r ² =	0,8224
r =	0,9069
MSE =	0,033
DSP =	1,320

$$\text{Log (CBR)} = a_0 + a_1 * \text{Log DCP [para 4 muestras SW-SM]}$$

Muestra	Log CBR campo	Log DCP (mm/golpe)					
	Yi	Xi	Xi ²	Xi*Yi	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²
casa	1,33	0,51	0,26	0,67	0,09	1,35	0,00
Mya1	1,49	0,36	0,13	0,54	0,21	1,47	0,00
Mya2	0,60	1,39	1,93	0,83	0,19	0,56	0,00
parque2	0,70	1,19	1,41	0,83	0,11	0,74	0,00
$\Sigma =$	4,12	3,45	3,73	2,88	0,60		0,00
Yp =	1,03						

Regresion Por Minimos Cuadrados

a ₀ =	1,794
a ₁ =	-0,887
r ² =	#####
r =	0,9971
MSE =	0,0148
DS =	0,02767

$$\text{Log (CBR)} = a_0 + a_1 * \text{Log DCP [para 15 muestras SM]}$$

Muestra	Log CBR campo	Log DCP (mm/golpe)						
	Yi	Xi	Xi ²	Xi*Yi	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	(Yi - Yci)
Fabrica1	1,63	0,51	0,26	0,83	0,13	1,66	0,00	0,03
Fabrica2	1,73	0,56	0,31	0,97	0,20	1,59	0,02	0,14
Fabrica3	1,26	0,86	0,74	1,09	0,00	1,20	0,00	0,06
casa	0,58	1,14	1,30	0,66	0,50	0,83	0,06	0,25
cra4-30	0,78	1,14	1,31	0,89	0,25	0,82	0,00	0,04
Policia	1,01	1,12	1,25	1,13	0,07	0,86	0,02	0,15
pana1	1,33	0,78	0,61	1,04	0,00	1,30	0,00	0,02
pana2	1,32	0,78	0,62	1,04	0,00	1,30	0,00	0,03
simon	1,45	0,61	0,37	0,89	0,03	1,52	0,01	0,07
terminal 1	1,31	0,78	0,60	1,02	0,00	1,31	0,00	0,01
terminal 2	1,32	0,61	0,37	0,80	0,00	1,53	0,04	0,21
terminal 3	1,41	0,82	0,67	1,15	0,02	1,26	0,02	0,15
terminal 4	1,16	0,80	0,65	0,94	0,01	1,27	0,01	0,11
terminal 5	1,20	0,96	0,93	1,15	0,01	1,06	0,02	0,14
parque2	1,70	0,49	0,24	0,83	0,18	1,68	0,00	0,02
$\Sigma =$	19,19	11,97	10,23	14,42	1,39	19,19	0,22	
Yp =	1,28							

Regresion Por Minimos Cuadrados

a ₀ =	2,328
a ₁ =	-1,314
r ² =	0,8435
r =	0,9184
MSE =	0,031
DSP =	0,096

$$\text{Log (CBR)} = a_0 + a_1 * (\text{DD}) + a_2 * \text{Log (DCP)}$$

Muestra	Log CBR campo	Densidad Seca	Log DCP (mm/golpe)									
	Yi	X1	X2	X1*X2	X1 ²	X2 ²	X1*Y	X2*Y	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	Yi - Yci
Altaho 1	1,33	1,79	0,51	0,91	3,21	0,26	2,39	0,67	0,01	1,58	0,06	0,25
Altaho 2	1,49	1,81	0,36	0,66	3,27	0,13	2,70	0,54	0,07	1,73	0,06	0,24
Fabrica1	1,63	1,64	0,51	0,83	2,70	0,26	2,68	0,83	0,17	1,56	0,01	0,08
Fabrica2	1,73	1,69	0,56	0,94	2,85	0,31	2,92	0,97	0,25	1,51	0,05	0,22
Fabrica3	1,26	1,61	0,86	1,39	2,60	0,74	2,03	1,09	0,00	1,18	0,01	0,08
casa	0,58	1,34	1,14	1,53	1,79	1,30	0,77	0,66	0,42	0,84	0,07	0,26
cra4-30	0,78	1,49	1,14	1,70	2,22	1,31	1,16	0,89	0,20	0,86	0,01	0,08
Policia	1,01	1,32	1,12	1,48	1,75	1,25	1,34	1,13	0,05	0,86	0,02	0,15
Mya1	0,60	1,48	1,39	2,05	2,18	1,93	0,88	0,83	0,40	0,60	0,00	0,01
Mya2	0,70	1,49	1,19	1,77	2,23	1,41	1,05	0,83	0,28	0,82	0,01	0,12
pana1	1,33	1,54	0,78	1,20	2,38	0,61	2,05	1,04	0,01	1,25	0,01	0,08
pana2	1,32	1,54	0,78	1,21	2,38	0,62	2,04	1,04	0,01	1,25	0,01	0,08
simon	1,45	1,63	0,61	1,00	2,65	0,37	2,36	0,89	0,05	1,44	0,00	0,01
terminal 1	1,31	1,62	0,78	1,26	2,62	0,60	2,12	1,02	0,01	1,27	0,00	0,05
terminal 2	1,32	1,59	0,61	0,97	2,54	0,37	2,09	0,80	0,01	1,44	0,01	0,12
terminal 3	1,41	1,66	0,82	1,36	2,76	0,67	2,34	1,15	0,03	1,23	0,03	0,18
terminal 4	1,16	1,61	0,80	1,29	2,59	0,65	1,87	0,94	0,00	1,24	0,01	0,07
terminal 5	1,20	1,62	0,96	1,56	2,63	0,93	1,94	1,15	0,00	1,07	0,02	0,13
parque2	1,70	1,81	0,49	0,89	3,27	0,24	3,07	0,83	0,22	1,60	0,01	0,10
Σ =	23,31	30,29	15,42	24,00	48,61	13,96	37,81	17,29	2,19		0,39	
Yp =	1,23											

a ₀ =	1,8028	a ₁ =	0,1712	a ₂ =	-1,0464	r ² =	0,8239	MSE =	0,019	DESV =	0,12
------------------	--------	------------------	--------	------------------	---------	------------------	--------	-------	-------	--------	------

$$\text{Log (CBR)} = a_0 + a_1 * (\text{DD}) + a_2 * \text{Log (DCP)} \quad [\text{para 15 muestras SM}]$$

Muestra	Log CBR campo	Densidad Seca	Log DCP (mm/golpe)									
	Yi	X1	X2	X1*X2	X1 ²	X2 ²	X1*Y	X2*Y	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	(Yi - Yci) ³
Fabrica1	1,63	1,64	0,51	0,83	2,70	0,26	2,68	0,83	0,13	1,61	0,00	0,02
Fabrica2	1,73	1,69	0,56	0,94	2,85	0,31	2,92	0,97	0,20	1,59	0,02	0,14
Fabrica3	1,26	1,61	0,86	1,39	2,60	0,74	2,03	1,09	0,00	1,24	0,00	0,02
casa	0,58	1,34	1,14	1,53	1,79	1,30	0,77	0,66	0,50	0,77	0,04	0,19
cra4-30	0,78	1,49	1,14	1,70	2,22	1,31	1,16	0,89	0,25	0,87	0,01	0,09
Policia	1,01	1,32	1,12	1,48	1,75	1,25	1,34	1,13	0,07	0,78	0,05	0,23
pana1	1,33	1,54	0,78	1,20	2,38	0,61	2,05	1,04	0,00	1,27	0,00	0,06
pana2	1,32	1,54	0,78	1,21	2,38	0,62	2,04	1,04	0,00	1,27	0,00	0,06
simon	1,45	1,63	0,61	1,00	2,65	0,37	2,36	0,89	0,03	1,50	0,00	0,05
terminal 1	1,31	1,62	0,78	1,26	2,62	0,60	2,12	1,02	0,00	1,33	0,00	0,01
terminal 2	1,32	1,59	0,61	0,97	2,54	0,37	2,09	0,80	0,00	1,48	0,03	0,16
terminal 3	1,41	1,66	0,82	1,36	2,76	0,67	2,34	1,15	0,02	1,32	0,01	0,09
terminal 4	1,16	1,61	0,80	1,29	2,59	0,65	1,87	0,94	0,01	1,29	0,02	0,13
terminal 5	1,20	1,62	0,96	1,56	2,63	0,93	1,94	1,15	0,01	1,14	0,00	0,06
parque2	1,70	1,81	0,49	0,89	3,27	0,24	3,07	0,83	0,18	1,74	0,00	0,04
Σ =	19,19	23,71	11,97	18,61	37,71	10,23	30,79	14,42	1,39		0,18	
Yp =	1,28											

a ₀ =	1,0022	a ₂ =	-1,0024	r =	0,9319	DS =	0,09
a ₁ =	0,6812	r ² =	0,8684	MSE =	0,01		

Log (CBR) = a₀ + a₁* (DD) + a₂*Log (DCP) [para 4 muestras de SW-SM]

Muestra	Log CBR campo	Densidad Seca	Log DCP (mm/golpe)									
	Yi	X1	X2	X1*X2	X1 ²	X2 ²	X1*Y	X2*Y	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	Yi - Yci
casa	1,33	1,79	0,51	0,91	3,21	0,26	2,39	0,67	0,09	1,36	0,00	0,029878
Mya1	1,49	1,81	0,36	0,66	3,27	0,13	2,70	0,54	0,21	1,46	0,00	0,029279
Mya2	0,60	1,48	1,39	2,05	2,18	1,93	0,88	0,83	0,19	0,58	0,00	0,018511
parque2	0,70	1,49	1,19	1,77	2,23	1,41	1,05	0,83	0,11	0,72	0,00	0,017911

a ₀ =	0,4302
a ₁ =	0,6985
a ₂ =	-0,6368

r ² =	0,9960
r =	0,9980
MSE =	0,001
DS =	0,024

Log (CBR) = a₀ + a₁* (%H) + a₂*Log (DCP)

a ₀ =	1,9922	r ² =	0,8915	DS =	0,08
a ₁ =	-0,0451	r =	0,9442		
a ₂ =	-0,5338	MSE =	0,012		

Muestra	Log CBR campo	Humedad %	Log DCP (mm/golpe)									
	Yi	X1	X2	X1*X2	X1 ²	X2 ²	X1*Y	X2*Y	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	Yi - Yci
Altaho 1	1,33	3,85	0,51	1,94	14,82	0,26	5,12	0,67	0,01	1,55	0,05	0,22
Altaho 2	1,49	3,56	0,36	1,30	12,67	0,13	5,31	0,54	0,07	1,64	0,02	0,15
Fabrica1	1,63	4,31	0,51	2,18	18,58	0,26	7,04	0,83	0,17	1,53	0,01	0,11
Fabrica2	1,73	4,33	0,56	2,42	18,75	0,31	7,49	0,97	0,25	1,50	0,05	0,23
Fabrica3	1,26	9,22	0,86	7,95	85,01	0,74	11,61	1,09	0,00	1,12	0,02	0,14
casa	0,58	14,07	1,14	16,07	197,96	1,30	8,09	0,66	0,42	0,75	0,03	0,17
cra4-30	0,78	12,92	1,14	14,78	166,93	1,31	10,07	0,89	0,20	0,80	0,00	0,02
Policia	1,01	12,16	1,12	13,61	147,87	1,25	12,31	1,13	0,05	0,85	0,03	0,17
Mya1	0,60	14,93	1,39	20,74	222,90	1,93	8,91	0,83	0,40	0,58	0,00	0,02
Mya2	0,70	13,67	1,19	16,24	186,87	1,41	9,57	0,83	0,28	0,74	0,00	0,04
pana1	1,33	4,31	0,78	3,36	18,58	0,61	5,72	1,04	0,01	1,38	0,00	0,05
pana2	1,32	5,02	0,78	3,94	25,20	0,62	6,64	1,04	0,01	1,35	0,00	0,02
simon	1,45	6,73	0,61	4,12	45,29	0,37	9,76	0,89	0,05	1,36	0,01	0,09
terminal 1	1,31	5,86	0,78	4,56	34,34	0,60	7,69	1,02	0,01	1,31	0,00	0,00
terminal 2	1,32	7,66	0,61	4,67	58,68	0,37	10,08	0,80	0,01	1,32	0,00	0,01
terminal 3	1,41	3,15	0,82	2,57	9,92	0,67	4,44	1,15	0,03	1,41	0,00	0,00
terminal 4	1,16	6,59	0,80	5,30	43,43	0,65	7,66	0,94	0,00	1,27	0,01	0,10
terminal 5	1,20	5,81	0,96	5,60	33,76	0,93	6,96	1,15	0,00	1,22	0,00	0,02
parque2	1,70	1,79	0,49	0,88	3,20	0,24	3,04	0,83	0,22	1,65	0,00	0,05
Σ =	23,31	139,94	15,42	132,21	1344,76	13,96	147,51	17,29	2,19		0,24	
Yp =	1,23											

Log (CBR) = a₀ + a₁* (%H) + a₂*Log (DCP) [para 15 muestras SM]

Muestra	Log CBR campo	Humedad %	Log DCP (mm/golpe)									
	Yi	X1	X2	X1*X2	X1 ²	X2 ²	X1*Y	X2*Y	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	(Yi - Yci)
Fabrica1	1,63	4,31	0,51	2,18	18,58	0,26	7,04	0,83	0,13	1,62	0,00	0,02
Fabrica2	1,73	4,33	0,56	2,42	18,75	0,31	7,49	0,97	0,20	1,57	0,02	0,16
Fabrica3	1,26	9,22	0,86	7,95	85,01	0,74	11,61	1,09	0,00	1,14	0,01	0,12
casa	0,58	14,07	1,14	16,07	197,96	1,30	8,09	0,66	0,50	0,73	0,03	0,16
cra4-30	0,78	12,92	1,14	14,78	166,93	1,31	10,07	0,89	0,25	0,77	0,00	0,01
Policia	1,01	12,16	1,12	13,61	147,87	1,25	12,31	1,13	0,07	0,82	0,04	0,19
pana1	1,33	4,31	0,78	3,36	18,58	0,61	5,72	1,04	0,00	1,39	0,00	0,06
pana2	1,32	5,02	0,78	3,94	25,20	0,62	6,64	1,04	0,00	1,36	0,00	0,04
simon	1,45	6,73	0,61	4,12	45,29	0,37	9,76	0,89	0,03	1,44	0,00	0,01
terminal 1	1,31	5,86	0,78	4,56	34,34	0,60	7,69	1,02	0,00	1,34	0,00	0,02
terminal 2	1,32	7,66	0,61	4,67	58,68	0,37	10,08	0,80	0,00	1,41	0,01	0,09
terminal 3	1,41	3,15	0,82	2,57	9,92	0,67	4,44	1,15	0,02	1,40	0,00	0,01
terminal 4	1,16	6,59	0,80	5,30	43,43	0,65	7,66	0,94	0,01	1,29	0,02	0,12
terminal 5	1,20	5,81	0,96	5,60	33,76	0,93	6,96	1,15	0,01	1,18	0,00	0,02
parque2	1,70	1,79	0,49	0,88	3,20	0,24	3,04	0,83	0,18	1,72	0,00	0,02
Σ =	19,19	103,93	11,97	92,00	907,49	10,23	118,60	14,42	1,39	19,19	0,13	
Yp =	1,28											

a ₀ =	2,1940	a ₁ =	-0,0363	a ₂ =	-0,8310	r ² =	0,9068	MSE =	0,009	DS =	0,07
------------------	--------	------------------	---------	------------------	---------	------------------	--------	-------	-------	------	------

Log (CBR) = a₀ + a₁* (%H) + a₂*Log (DCP) [para 4 muestras SW-SM]

Muestra	Log CBR campo	Humedad %	Log DCP (mm/golpe)									
	Y _i	X ₁	X ₂	X ₁ *X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₁ *Y	X ₂ *Y	(Y _i - Y _p) ²	Y _{ci}	(Y _i - Y _{ci}) ²	Y _i - Y _{ci}
Altaho 1	1,33	3,85	0,51	1,94	14,82	0,26	5,12	0,67	0,00	1,63	0,09	0,303307
Altaho 2	1,49	3,56	0,36	1,30	12,67	0,13	5,31	0,54	0,05	1,76	0,07	0,270671
Mya1	0,60	14,93	1,39	20,74	222,90	1,93	8,91	0,83	0,47	0,50	0,01	0,099374
Mya2	0,70	13,67	1,19	16,24	186,87	1,41	9,57	0,83	0,34	0,71	0,00	0,010561
Σ =	4,12	36,01	3,45	40,22	437,27	3,73	28,91	2,88	0,85		0,18	
Y _p =	1,03											

a ₀ =	1,7768	r ² =	0,7937
a ₁ =	-0,0118	r =	0,8909
a ₂ =	-0,7439	MSE =	0,01
		DS =	0,17

Log (CBR) = a₀ + a₁* (%H) + a₂*Log (DCP) + a₃*Log (DD)

a ₀ =	2,2416	r ² =	0,8942
a ₁ =	-0,0487	r =	0,9456
a ₂ =	-0,5851	MSE =	0,012
a ₃ =	-0,9018	DS =	0,08

Muestra	Log CBR campo	Humedad %	Log DCP (mm/golpe)	Log DD													
	Yi	X1	X2	X3	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1 ²	X2 ²	X3 ²	X1*Y	X2*Y	X3*Y	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	ABS(Yi - Yci)
Altaho 1	1,33	3,85	0,51	0,25	1,94	0,98	0,13	14,82	0,26	0,06	5,12	0,67	0,34	0,01	1,53	0,04	0,20
Altaho 2	1,49	3,56	0,36	0,26	1,30	0,92	0,09	12,67	0,13	0,07	5,31	0,54	0,38	0,07	1,62	0,02	0,13
Fabrica1	1,63	4,31	0,51	0,22	2,18	0,93	0,11	18,58	0,26	0,05	7,04	0,83	0,35	0,17	1,54	0,01	0,09
Fabrica2	1,73	4,33	0,56	0,23	2,42	0,99	0,13	18,75	0,31	0,05	7,49	0,97	0,39	0,25	1,50	0,05	0,23
Fabrica3	1,26	9,22	0,86	0,21	7,95	1,91	0,18	85,01	0,74	0,04	11,61	1,09	0,26	0,00	1,10	0,03	0,16
casa	0,58	14,07	1,14	0,13	16,07	1,78	0,14	197,96	1,30	0,02	8,09	0,66	0,07	0,42	0,77	0,04	0,20
cra4-30	0,78	12,92	1,14	0,17	14,78	2,24	0,20	166,93	1,31	0,03	10,07	0,89	0,13	0,20	0,79	0,00	0,01
Policia	1,01	12,16	1,12	0,12	13,61	1,48	0,14	147,87	1,25	0,01	12,31	1,13	0,12	0,05	0,88	0,02	0,13
Mya1	0,60	14,93	1,39	0,17	20,74	2,53	0,24	222,90	1,93	0,03	8,91	0,83	0,10	0,40	0,55	0,00	0,05
Mya2	0,70	13,67	1,19	0,17	16,24	2,38	0,21	186,87	1,41	0,03	9,57	0,83	0,12	0,28	0,72	0,00	0,02
pana1	1,33	4,31	0,78	0,19	3,36	0,81	0,15	18,58	0,61	0,04	5,72	1,04	0,25	0,01	1,41	0,01	0,08
pana2	1,32	5,02	0,78	0,19	3,94	0,94	0,15	25,20	0,62	0,04	6,64	1,04	0,25	0,01	1,37	0,00	0,04
simon	1,45	6,73	0,61	0,21	4,12	1,42	0,13	45,29	0,37	0,04	9,76	0,89	0,31	0,05	1,36	0,01	0,09
terminal 1	1,31	5,86	0,78	0,21	4,56	1,23	0,16	34,34	0,60	0,04	7,69	1,02	0,27	0,01	1,31	0,00	0,00
terminal 2	1,32	7,66	0,61	0,20	4,67	1,55	0,12	58,68	0,37	0,04	10,08	0,80	0,27	0,01	1,33	0,00	0,01
terminal 3	1,41	3,15	0,82	0,22	2,57	0,70	0,18	9,92	0,67	0,05	4,44	1,15	0,31	0,03	1,41	0,00	0,00
terminal 4	1,16	6,59	0,80	0,21	5,30	1,36	0,17	43,43	0,65	0,04	7,66	0,94	0,24	0,00	1,26	0,01	0,10
terminal 5	1,20	5,81	0,96	0,21	5,60	1,22	0,20	33,76	0,93	0,04	6,96	1,15	0,25	0,00	1,21	0,00	0,01
parque2	1,70	1,79	0,49	0,26	0,88	0,46	0,13	3,20	0,24	0,07	3,04	0,83	0,44	0,22	1,64	0,00	0,06
∑ =	23,31	139,94	15,42	3,82	132,21	25,81	2,94	1344,76	13,96	0,79	147,51	17,29	4,87	2,19	23,31	0,23	
Yp =	1,23																

$$\text{Log (CBR)} = a_0 + a_1 * (\%H) + a_2 * \text{Log (DCP)} + a_3 * \text{Log (DD)} \quad [\text{para 4 muestras SW-SM}]$$

$a_0 =$	-2,7724	$r^2 =$	1,0000
$a_1 =$	0,1318	$r =$	1,0000
$a_2 =$	-0,9563	MSE =	0,000
$a_3 =$	16,0883	DS =	1,21E-12

Muestra	Log CBR campo	Humedad %	Log DCP (mm/golpe)	Log DD													
	Yi	X1	X2	X3	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1 ²	X2 ²	X3 ²	X1*Y	X2*Y	X3*Y	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	(Yi - Yci)
Altaho 1	1,33	3,85	0,51	0,25	1,94	0,98	0,13	14,82	0,26	0,06	5,12	0,67	0,34	0,09	1,33	0,00	1,51E-12
Altaho 2	1,49	3,56	0,36	0,26	1,30	0,92	0,09	12,67	0,13	0,07	5,31	0,54	0,38	0,21	1,49	0,00	1,49E-12
Mya1	0,60	14,93	1,39	0,17	20,74	2,53	0,24	222,90	1,93	0,03	8,91	0,83	0,10	0,19	0,60	0,00	8,49E-13
Mya2	0,70	13,67	1,19	0,17	16,24	2,38	0,21	186,87	1,41	0,03	9,57	0,83	0,12	0,11	0,70	0,00	9,7E-13
$\Sigma =$	4,12	36,01	3,45	0,86	40,22	6,81	0,66	437,27	3,73	0,19	28,91	2,88	0,94	0,60	4,12	0,00	
Yp =	1,03																

$$\text{Log (CBR)} = a_0 + a_1 * (\%H) + a_2 * \text{Log (DCP)} + a_3 * \text{Log (DD)} \quad [\text{para 15 muestras SM}]$$

$a_0 =$	0,0271	$r^2 =$	0,8619
$a_1 =$	-0,0156	$r =$	0,9284
$a_2 =$	-0,0740	MSE =	0,018
$a_3 =$	7,3513	DS =	0,13

Muestra	Log CBR campo	Humedad %	Log DCP (mm/golpe)	Log DD													
	Yi	X1	X2	X3	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1 ²	X2 ²	X3 ²	X1*Y	X2*Y	X3*Y	(Yi - Yp) ²	Yci	(Yi - Yci) ²	(Yi - Yci)
Fabrica1	1,63	4,31	0,51	0,22	2,18	0,93	0,11	18,58	0,26	0,05	7,04	0,83	0,35	0,39	1,51	0,02	0,13
Fabrica2	1,73	4,33	0,56	0,23	2,42	0,99	0,13	18,75	0,31	0,05	7,49	0,97	0,39	0,52	1,59	0,02	0,14
Fabrica3	1,26	9,22	0,86	0,21	7,95	1,91	0,18	85,01	0,74	0,04	11,61	1,09	0,26	0,06	1,34	0,01	0,08
casa	0,58	14,07	1,14	0,13	16,07	1,78	0,14	197,96	1,30	0,02	8,09	0,66	0,07	0,19	0,65	0,01	0,08
cra4-30	0,78	12,92	1,14	0,17	14,78	2,24	0,20	166,93	1,31	0,03	10,07	0,89	0,13	0,05	1,01	0,05	0,23
Policia	1,01	12,16	1,12	0,12	13,61	1,48	0,14	147,87	1,25	0,01	12,31	1,13	0,12	0,00	0,65	0,13	0,37
pana1	1,33	4,31	0,78	0,19	3,36	0,81	0,15	18,58	0,61	0,04	5,72	1,04	0,25	0,10	1,28	0,00	0,04
pana2	1,32	5,02	0,78	0,19	3,94	0,94	0,15	25,20	0,62	0,04	6,64	1,04	0,25	0,10	1,27	0,00	0,05
simon	1,45	6,73	0,61	0,21	4,12	1,42	0,13	45,29	0,37	0,04	9,76	0,89	0,31	0,20	1,43	0,00	0,02
terminal 1	1,31	5,86	0,78	0,21	4,56	1,23	0,16	34,34	0,60	0,04	7,69	1,02	0,27	0,09	1,42	0,01	0,11
terminal 2	1,32	7,66	0,61	0,20	4,67	1,55	0,12	58,68	0,37	0,04	10,08	0,80	0,27	0,09	1,35	0,00	0,03
terminal 3	1,41	3,15	0,82	0,22	2,57	0,70	0,18	9,92	0,67	0,05	4,44	1,15	0,31	0,16	1,54	0,02	0,13
terminal 4	1,16	6,59	0,80	0,21	5,30	1,36	0,17	43,43	0,65	0,04	7,66	0,94	0,24	0,02	1,38	0,05	0,22
terminal 5	1,20	5,81	0,96	0,21	5,60	1,22	0,20	33,76	0,93	0,04	6,96	1,15	0,25	0,04	1,41	0,04	0,21
parque2	1,70	1,79	0,49	0,26	0,88	0,46	0,13	3,20	0,24	0,07	3,04	0,83	0,44	0,48	1,85	0,02	0,15
∑ =	15,13	89,74	9,71	2,29	80,22	15,96	1,78	827,10	8,42	0,45	100,94	11,49	2,99	1,96	15,05	0,27	
Yp =	1,01																

