



## Caracterización de suelos de subrasante mediante el uso del penetrómetro dinámico de cono (PDC)

Characterization of subsoil soils by using of dynamic cone penetrometer (DCP)

Agustín MacGregor Torrado<sup>1</sup>, Romel Jesús Gallarda Amaya<sup>2</sup>, Haideé Yulady Jaramillo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Especialista en Geotecnia Ambiental, aamacgregort@ufpso.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Docente Departamento de Ingeniería Civil, orcid.org/0000-0002-5144-8572, Ocaña, Colombia.

<sup>2</sup>Magister en Geotecnia, rjgallardo@ufpso.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Docente Departamento de Ingeniería Civil, orcid.org/0000-0002-4740-4841, Ocaña, Colombia.

<sup>3</sup>Magister en Construcción, hjaramillo@ufpso.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Docente Departamento de Ingeniería Civil, orcid.org/0000-0002-4185-119X, Ocaña, Colombia.

**How to cite:** A. MacGregor-Torrado, R.J. Gallarda-Amaya, H. Yulady-Jaramillo, “Caracterización de suelos de subrasante mediante el uso del penetrómetro dinámico de cono (PDC)”. *Respuestas*, vol. 25, no. S2, pp. 59-68, 2020.

Received on September 05, 2019; Approved on December 15, 2019

### ABSTRACT

#### Keywords:

CBR, Characterization, Dynamic Cone Penetrometer, Sub-Grade, Support Capacity.

In the development of road projects, as well as in different infrastructure works, the characterization of the materials is necessary to know their behavior. In the case of subgrade materials, their support capacity can be defined by the CBR index, which is an indicator of their resistance to shear and whose estimation is made by various field and laboratory methods.

The objective of this research is the characterization of the ground as subgrade material from the CBR index obtained with the dynamic cone penetrometer (PDC) test for unpaved roads in the municipality of Ocaña. Four stages of work have been proposed: Field recognition, sampling, field and laboratory tests, and analysis of the results.

The soils in the study areas have a significant content of fines with percentages between 7% and 70% that classify as sands and clays according to the unified SUCS system, with plasticity indexes between 6 and 25, and PDC index between 2 and 75 which corresponds to CBR values between 58% and 5% respectively, this applying the equation proposed by the INV standard E 172-13.

In conclusion, the use of this method for the characterization of sub-grade soils is an alternative that provides economy and speed for the measurement of the support capacity through the CBR index. From the behavioral point of view, the PDC index allows sub-grading to be classified in a range from Poor to Excellent, which provides an initial perspective of the quality of the terrain.

### RESUMEN

#### Palabras clave:

Capacidad de Soporte; Caracterización; CBR; Penetrómetro dinámico de cono; Subrasante.

En el desarrollo de proyectos viales, así como en diferentes obras de infraestructura, es necesaria la caracterización de los materiales para conocer su comportamiento, en el caso de los materiales de sub-rasante, su capacidad de soporte se puede definir mediante el índice CBR, el cual es un indicador de su resistencia al cortante y cuya estimación se hace mediante diversos métodos de campo y laboratorio.

El objetivo de esta investigación es la caracterización del suelo como material de sub-rasante a partir del índice CBR obtenido con el ensayo de penetrómetro dinámico de cono (PDC) para vías no pavimentadas del municipio de Ocaña. Se han planteado cuatro etapas de trabajo: Reconocimiento de campo, muestreo, ensayos de campo y laboratorio y análisis de los resultados.

Los suelos en las zonas de estudio poseen un contenido significativo de finos con porcentajes entre 7% y 70% que clasifican como arenas y arcillas según el sistema unificado SUCS, con índices de plasticidad entre 6 y 25, e índice de PDC entre 2 y 75 que corresponde a valores de CBR entre 58% y 5% respectivamente, esto aplicando la ecuación que plantea la norma I.N.V. E 172-13.

En conclusión, el uso de este método para la caracterización de suelos de sub-rasante es una alternativa que brinda economía y rapidez para la medición de la capacidad de soporte mediante el índice CBR. Desde el punto de vista del comportamiento el índice PDC permite clasificar la sub-rasantes en un rango de Pobre a Excelente, lo cual brinda una perspectiva inicial de la calidad del terreno.

\*Corresponding au-

E-mail ad- aamacgregort@ufpso.edu.co (Agustín MacGregor Torrado)



Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.  
This is an article under the license CC BY-ND

## Introducción

Toda obra civil relacionada con proyectos viales, así como en cualquier otra línea asociada a la construcción de obras de infraestructura, requiere de estudios previos que permitan la formulación de dicho proyecto. Es así como en proyectos de infraestructura vial la caracterización de los materiales de sub-rasante es una de las variables indispensables a considerar en el diseño de las estructuras de pavimento [1] [2]. Esta caracterización incluye la determinación de la capacidad de soporte de sub-rasante o comúnmente llamada relación de soporte de California (CBR) con el cual se busca tener una medida de la resistencia al cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

Existen diferentes normas a nivel nacional e internacional que describen los métodos que permiten estimar el valor de CBR, entre los más utilizados se consideran algunos como: CBR de laboratorio con muestras alteradas e inalteradas ((INV E 148 -13) [3], (ASTM D1883) [4], y CBR in Situ (INV E 169 -13) [5], (ASTM D4429)) [6], entre otros. Dichos métodos por lo general involucran altos costos y el empleo excesivo de tiempo para su realización, por lo que se ha recurrido a métodos más simples y rápidos que permitan obtener la resistencia en campo [7] [8]. En la actualidad uno de los más utilizados es el método del Penetrómetro Dinámico de cono (PDC), el cual lo rige las normas INV E 172 -13 [9] y ASTM D 6951 [10], pero que presenta el inconveniente que determina valores que son producto de diferentes ecuaciones de correlación planteadas por diferentes autores a través de los años, relacionándose, para determinadas tipologías de suelos, con los métodos de CBR con muestras en laboratorio e In situ [11].

El registro más antiguo de un dispositivo de penetración similar al PDC es el “ram penetrometer” a finales del siglo XVII presentado Nicholas Goldmann en Alemania, posteriormente sobre el año 1936 un nuevo y mayor desarrollo fue presentado por Künzel, al cual se le conoció como “Prüfstab”, y que fue utilizado por Paproth en 1943 y estandarizado en 1964 como “Light Penetrometer” Norma Alemana DIN 4094; en concurrencia países como Estados Unidos y Canadá desarrollaron otras normas para dispositivos de penetración pero que originalmente fueron desarrollados por Scala (1956) ) [12] [13], posteriormente fue desarrollada una norma en África central

que fue modificada por Van Vuuren (1966) [14] [15], y utilizada hasta el año 1973 en Sudáfrica en una extensa investigación para conocer, de una forma simple, la resistencia In Situ de los materiales de sub-rasante.

Son diversas las investigaciones que han sido ejecutadas para desarrollar relaciones empíricas entre la resistencia de penetración PDC 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 [8] [16] [17]. A nivel nacional existe una variedad de estudios llevados a cabo por CORASFALTOS, Universidad del Cauca [18], y la Universidad de Nariño; así mismo a nivel regional las investigaciones realizadas por Lacera. (2006), Flores, Torres, Torres & Peña, (2017) [19], todas con el objetivo de obtener el valor de capacidad de carga de sub-rasante de una forma rápida, económica y confiable.

Para el caso de esta primera fase de la investigación se tiene como objetivo primordial la de caracterizar los materiales de sub-rasante a partir del uso del penetrómetro dinámico de cono, utilizando la ecuación de correlación que indica la norma INVIAS E-172-13, la cual fue planteada por el cuerpo del ejército americano de Ingenieros (U.S. Army Corps of Engineers\_Webster et al. (1992) [8] [18], adoptando para la respectiva clasificación de la subrasante lo descrito en el manual del asfalto [20] [21]. Posteriormente en una segunda fase de la investigación se plantea utilizar la información recopilada para derivar una ecuación propia que sea aplicable a los suelos típicos de subrasante de vías terciarias para el municipio de Ocaña, Colombia.

## Materiales Y Métodos

Para realizar la primera fase de la investigación correspondiente a la caracterización de materiales de sub-rasante a partir del uso del penetrómetro dinámico de cono se ha planteado una estructura de trabajo como se muestra en la Figura. 1, la cual permitió caracterizar los materiales de las subrasantes de las zonas de estudio y establecer los procedimientos a emplear en el desarrollo de la investigación para determinar el Índice CBR a partir de la correlación planteada por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos y, utilizada por la Norma INVIAS E – 172 -13.

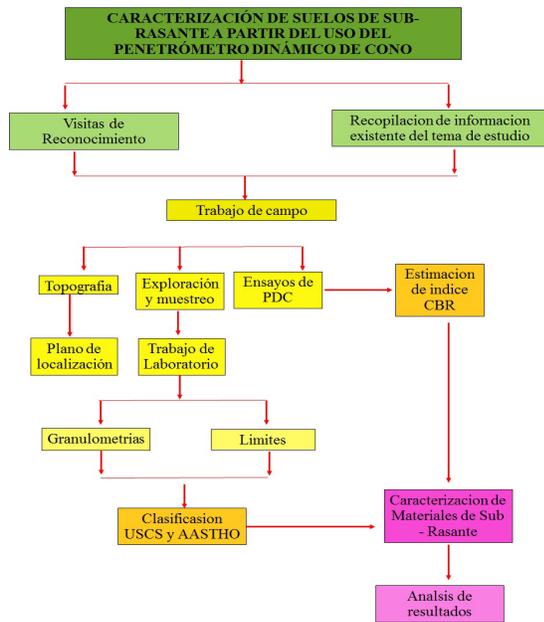


Figura. 1. Metodología de investigación. Fuente: Autores

Se establecieron cuatro fases para el desarrollo de esta primera etapa de la investigación: Fase 1: Visitas de campo, localización de las áreas de estudio y recopilación de información existente acerca del tema, Fase 2: actividades de trabajo de campo como levantamientos topográficos (ver Figura. 2), toma de muestras para programa de ensayos de laboratorio (ver Figura. 3) y ensayos con el penetrómetro dinámico de cono-PDC (ver Figura. 4), Fase 3: Programa de ensayos de laboratorio y Fase 4: Análisis de Resultados.

La investigación implementada para el desarrollo del proyecto es de tipo experimental, considerando el trabajo de campo para la recolección de información del IPDC que permitiera obtener los valores de CBR, el muestreo necesario para clasificar los suelos encontrados y el análisis estadístico realizado, y a su vez de tipo descriptivo ya que se permite organizar y presentar un conjunto de datos de manera que describan en forma precisa las variables analizadas haciendo rápida su lectura e interpretación. La recopilación de las muestras se realizó a través de un muestreo por áreas, el cual es uno de los tipos de muestreo por conglomerado [22], en el que el área geográfica, sirve de base, para determinar los estratos de la población, se utiliza cuando la población objeto del estudio se puede delimitar por áreas o espacios específicos, además de tener entre sus ventajas que es muy eficiente cuando la población es muy grande y dispersa. En el proyecto la población de estudio se dividió en cua-

tro sectores, tres del área rural (Corregimiento de Pueblo Nuevo, Vereda el Rhin en los predios de la Universidad Francisco de Paula Santander y Vía Ocaña - Buenavista) y un sector del perímetro Urbano del municipio de Ocaña en el sector del Barrio El Hatillo (ver Figura. 5), seguido de un muestreo aleatorio con un grado de confianza del 95%, un margen de error del 9%, una proporción esperada del 93% y una probabilidad de fracaso del 7%. El resultado del tamaño de la muestra para las condiciones antes mencionadas fue de 30, calculado mediante (1) [23]. Los sectores de muestreo se discriminan de la siguiente forma: 9 muestras sector del Hatillo, 8 del sector Corregimiento de Pueblo Nuevo, 6 del Sector UFPSO y 7 del sector de Buenavista, para un total de 30 muestras.

El análisis estadístico a realizar será de tipo univariado, ya que en el proyecto se examinarán los efectos de la variable independiente (Caracterización de suelo Muy regular a Excelente) a partir de una sola variable dependiente (Índice de capacidad de Carga CBR obtenido por correlación con los datos del ensayo de PDC).

$$n = \frac{Z_c^2(pq)}{d^2} \dots (1)$$

Dónde:

$Z_c$  es 1.96 es el Nivel de confianza

$p$  es 0.93 es la probabilidad del éxito o proporción esperada

$q$  es 0.07 es la probabilidad al fracaso

$d$  es 0.09 es el margen de error



Figura. 2. Desarrollo de Levantamiento Topográfico. Fuente: Autores



Figura 3. Toma de muestras para caracterización. Fuente: Autores



Figura 4. Realización de ensayos con Penetrómetro dinámico de cono. Fuente: Autores

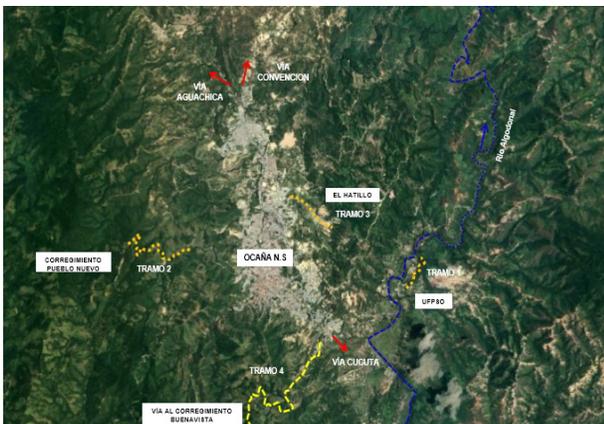


Figura 5. Localización de los tramos viales donde se realizó el muestreo y ensayos PDC. Fuente: Google Earth – Editado

## Resultados Y Análisis

Finalizada la fase 3 correspondiente al programa de ensayos de laboratorio se procedió con la última fase de esta etapa de la investigación, correspondiente al análisis estadístico de los resultados.

Una vez terminado el programa de ensayos de campo y laboratorio se procedió a obtener las propiedades índice y el índice de capacidad de carga CBR mediante (2) para las diferentes muestras tomadas en campo, ver Tabla I y Tabla II respectivamente.

$$\%CBR = \frac{292}{IPDC^{1.12}} \dots (2)$$

Donde:

IPDC es el índice de penetración dinámica de cono

TRAMOS	% FINOS	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION	
	RANGO	RANGO	USCS	AASTHO
TRAMO 1 VIA UFPSO	8% a 57%	8% a 17%	SW, SC, CL	A-1a, A-1b, A-2-4, A-6
TRAMO 2 VIA PUEBLO NUEVO	43% a 80%	8% a 25%	SC, CL, ML	A-4, A-6, A-7-5, A-7-6
TRAMO 3 VIA BARRIO EL HATILLO	7% a 40%	6% a 12%	SW, SC, SM	A1a, A1b, A2-4, A6
TRAMO 4 VIA BUENAVISTA	30% a 60%	12% a 25%	SC, CL, ML	A2-4, A-6, A7-5, A7-6

Fuente: [21]

Tabla I. Propiedades Índice De Los Tramos De Estudio

TRAMOS	# ENSAYO	IPDC	INDICE CBR ECUACION %CBR : 292/IPDC <sup>1,12</sup>
TRAMO 1 VÍA UFPSO	1	5,38	44,4
	2	26,5	7,4
	3	4,4	55,6
	4	6,3	37,2
	5	5,1	47,1
	6	3,5	5,4
TRAMO 2 VÍA PUEBLO NUEVO	7	15,8	13,3
	8	4,2	58,5
	9	3,6	69,6
	10	4	61,8
	11	6,9	33,6
	12	6	39,3
	13	5,8	40,8
	14	10	22,2
TRAMO 3 VIA BARRIO EL HATILLO	15	8,8	25,6
	16	15,27	13,8
	17	16,13	13,0
	18	7,75	29,5
	19	8,22	27,6
	20	20,25	10,1
	21	2	75,0
	22	75,22	2,3
TRAMO 4 VÍA BUENAVISTA	23	12,36	17,5
	24	8,1	28,0
	25	13,8	15,4
	26	26,3	7,5
	27	11,2	19,5
	28	12,3	17,6
	29	11,1	19,7
	30	10,6	20,8

Fuente: Autores

Tabla II. Calculo Del Indice De Capacidad De Carga “CBR”

Los suelos en las zonas de estudio poseen un contenido significativo de finos con porcentajes entre 7% y 80%, clasificando en algunos casos como arenas y el resto en arcillas o limos, esto según el sistema unificado SUCS, con índices de plasticidad entre 6 y 25, e índice de PDC entre 2 y 75 que corresponde a valores de CBR entre 58% y 5% respectivamente, esto aplicando (2).

Para el análisis estadístico se inició con un diagrama de tallo y hoja [24], tal como se muestra en la Figura. 6, a través del cual se observa que no se tiene una distribución clara, ya que se trabajó con datos no agrupados, lo cual género que el comportamiento no registrara una tendencia y con el cual se alcanzara una aproximación de las características de los materiales analizados.

Indice %CBR	TALLO	HOJA	
2,3	2	3	
5,4	5	4	
7,4	7	4	5
7,5			
10,1	10	1	
13,0			
13,3			
13,8	13	0	3 8
15,4	15	4	
17,5			
17,6	17	5	6
19,5			
19,7	19	5	7
20,8	20	8	
22,2	22	2	
25,6	25	6	
27,6	27	6	
28,0	28	0	
29,5	29	5	
33,6	33	6	
37,2	37	2	
39,3	39	3	
40,8	40	8	
44,4	44	4	
47,1	47	1	
55,6	55	6	
58,5	58	5	
61,8	61	8	
69,6	69	6	
134,3	75	3	

Figura. 6. Diagrama de Tallo y Hoja.Fuente: Autores

Posteriormente se realizó un análisis tipo diagrama de puntos (Ver Figura. 8) realizando una agrupación en rangos, inicialmente se estimaron los anchos de clase a partir de las ecuaciones [25] indicadas en la Tabla III, en la cual el valor de R indica el rango entre el dato mayor y menor, determinándose que no se ajustaba con el análisis así como de no contar con referencias utilizando algunos de dichos rangos, por lo anterior se procedió a utilizar los rangos de clasificación indicados en el manual del asfalto (ver Tabla IV), teniendo en cuenta que la intención del análisis es la de caracterizar los materiales a partir del índice de carga CBR calculado con los resultados de los ensayos con el penetrómetro dinámico de cono (PDC).

CALCULO DEL INTERVALO DE CLASE			R	Ancho de clase
Autor	Ecuación			
	$K = n^{1/2}$ si n no es muy grande	5,477226	132	24
Sturges	$K = 1 + 3.33 \log_{10} n$ en otro caso	9,236891		14
Scott sin factor de corrección	$k = 3.5n^{-1/3}$	1,126404		117

Fuente: Autores

Tabla III. Calculo De Intervalos De Clase Con Ecuación De Varios Autores

No CBR	Clasificación General	Usos	Sistemas de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 -3	Muy pobre	Sub - Rasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6,A7
3 -7	Muy pobre a regular	Sub - Rasante	OH, CH, MH, OL	A4,A5, A6,A7
7 - 20	Regular	Sub - Base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2,A4, A6,A7
20 -50	Bueno	Sub - Base y Base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1b, A2-5, A-3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A-1a, A2-4, A-3

Fuente: [20] [21]

Tabla IV. Sistema De Clasificación Tipo "Manual Del Asfalto"

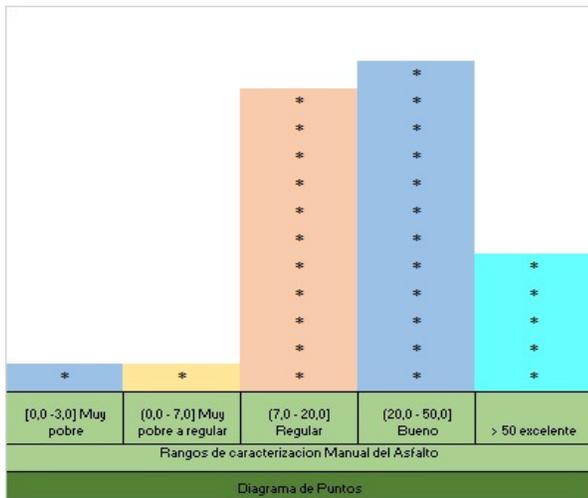


Figura. 7. Diagrama de Puntos con datos de estudio. Fuente: Autores

En la Figura 7 se muestra un diagrama de puntos para la serie de datos de CBR obtenida para los diferentes sectores de análisis, se puede establecer que al momento de agrupar los datos en los rangos establecidos en el manual del asfalto, ya se comienza a observar un comportamiento representativo sobre los valores entre los rangos de regular a bueno que marca una tendencia en los datos obteniendo un valor muy representativo sobre la cantidad de datos tomados.

Con el fin de reafirmar el comportamiento de los datos mostrado en la Figura. 7 se procede a realizar un diagrama de cajas (ver Figura. 8).

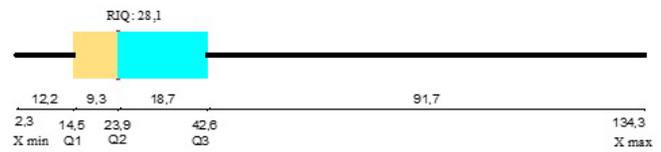


Figura. 8. Diagrama de Cajas de estudio. Fuente: Autores

Según el Rango Intercuartílico (RIQ), se puede decir que el 50% de los suelos presentan un índice CBR de 28.1, así mismo dado que la parte izquierda de la caja es menor a la parte derecha se puede deducir que los suelos con índice CBR entre el 25% a 50 % están menos dispersos que entre el 50% a 75%, de igual forma como el "bigote" de la parte izquierda del diagrama es menor al de la derecha se puede decir que el 25% de los suelos con índice CBR bajo se encuentran más concentrados que los suelos con índice de CBR alto.

Estos resultados en conjunto con los resultados del diagrama de puntos dan un indicador de la tendencia en la caracterización de los materiales.

Con el objeto de ratificar los resultados del diagrama de tallo y hoja, así como del de cajas se procedió a realizar un histograma (ver Figura. 9), tomado los rangos analizados y las frecuencias de cada una de ellos, adicionalmente se trazó un polígono que, debido a los rangos con los que se trabajaron, se muestra como una curva suave, es de aclarar que cuando se realizan histogramas con diferentes anchos de clases la altura de dichos anchos se calculan dividiendo las frecuencias relativas sobre el ancho de dicho intervalo con lo cual se permite calcular la escala de densidad para el eje vertical [24].

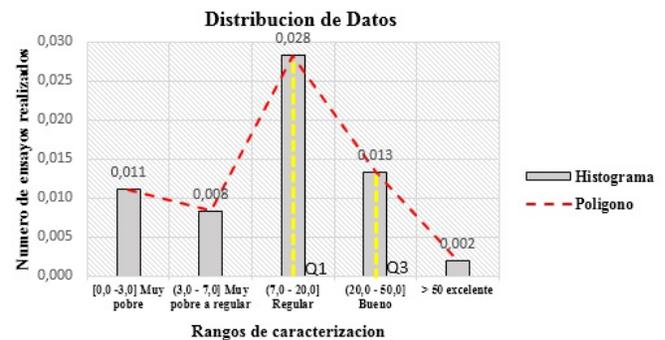


Figura. 9. Histograma y polígono con Rangos y Datos de estudio. Fuente: Autores

Con el resultado del histograma y del trazado del polígono se sigue evidenciando el comportamiento de los valores y la influencia de los rangos de bueno a excelente, en donde se vuelve repetitivo que el 50% de los valores se encuentran incluidos en los rangos de la clasificación de materiales de subrasante según lo indicado en [20].

Dentro del análisis estadístico se incluyeron también las medidas de tendencia central tales como la Media aritmética, media geométrica, media armónica y la mediana, las cuales se indican en la Tabla V, para el caso de la moda, para este análisis, no fue posible estimarla debido a que los datos no son de tipo discreto.

Medidas de Tendencia Central	
Media Aritmética	31,26
Media Geométrica	22,92
Media Armónica	15,37
Mediana	22,2

Fuente: Autores

Tabla V. Resumen De Las Medidas De Tendencia Central

Medida de Dispersión	
Varianza (S)	25,89
Rangos Teorema Chebyshev	
Rango ( $\bar{X} - 2S$ )	-21
Rango ( $\bar{X} + 2S$ )	83
% Datos en el Rango ( $\bar{X} - 2S$ ) a ( $\bar{X} + 2S$ ) es igual 96,95% > 95%	
Medida de apuntamiento	
Curtosis	5,75
Medida de asimetría	
Coefficiente de Fisher	2,11

Fuente: Autores

Tabla VI. Resumen De Medidas De Dispersión, Apuntamiento Y De Asimetría

Tras la verificación del coeficiente de Fisher se confirma lo obtenido anteriormente sobre el sesgo es positivo de los datos analizados, ya que el valor del coeficiente de Fisher es un valor positivo 2.11 indicando que hay más valores positivos a la derecha de la media, así mismo tras el análisis del valor de la medida de apuntamiento la curtosis es un valor mayor que 0, por lo tanto se puede decir que del análisis de datos se obtiene una distribución leptocúrtica, indicando que hay una mayor concentración de los datos en torno a la media.

## Conclusiones

El uso de este método para la caracterización de suelos de sub-rasante es una alternativa que brinda economía y rapidez para la medición de la capacidad de soporte mediante el índice CBR. Desde el punto de vista del comportamiento de materiales para soportar estructuras de pavimento el índice PDC permite clasificar las sub-rasantes en un rango de Pobre a Excelente, lo cual brinda una perspectiva inicial de la calidad del terreno.

Se evaluó por medio de la ejecución de los ensayos de PDC el índice de capacidad de carga de los suelos de varios sectores viales, donde para cada prueba se obtuvo un índice distinto, observándose cambios en los resultados dependiendo de la transición entre una capa y otra del perfil de sub-rasante explorado; lo cual se corresponde con la presencia de suelos de diferente consistencia y composición granulométrica

En los casos en donde se obtuvo valores de CBR superior al 100%, se evidencia que existen partículas con tamaños iguales o superiores a 50 milímetros (2”), esto confirma que para obtener resultados confiables para el ensayo de PDC, este no se debe ejecutar en suelos con esas características.

Los suelos de sub-rasante de los sectores viales incluidos en la investigación se pueden clasificar de regulares a buenos dentro de los rangos presentados en el manual de asfalto, encontrándose a que el 76.6% se encuentra en el rango de Bueno a Regular, el 6.6% en el rango de Muy Pobre a Regular y el 16.6 % en el de Bueno a Excelente, lo cual permite establecer la calidad de los suelos de sub-rasante de los corredores viales terciarios del área geográfica seleccionada para la investigación.

Todos los cálculos del índice de CBR se realizaron con la ecuación de correlación genérica que usa la Norma INVIAS E-172-13 a partir de los datos obtenidos con el penetrómetro dinámico de cono (PDC), es de aclarar que existen muchas ecuaciones de correlación formuladas a nivel internacional y nacional, pero el uso de ellas debe hacerse con mucha cautela, por lo tanto se recomienda realizar estudios regionales o locales con el fin de obtener ecuaciones particulares de correlación que permitan obtener con mayor certeza los valores de CBR.

Todas las variables estadísticas analizadas en la investigación muestran como resultado la alta concentración de datos sobre los rangos de buena a excelente del índice de capacidad de carga expresado como %CBR calculado a partir de resultados de correlación con el ensayo de penetrómetro dinámico de cono PDC mediante la ecuación que usa actualmente la Norma INVIAS INV-E 172-13, lo cual plantea la necesidad de corroborar dicho comportamiento a partir de establecer una ecuación de correlación para el área geográfica seleccionada en la investigación con ensayos de CBR de laboratorio con muestras alteradas e inalteradas [3] y los respectivos ensayos PDC [9] del estudio, esto con el objetivo de obtener una ecuación específica que aplique a la tipología de suelos presente en la región donde se desarrolló la investigación, de modo que permita obtener a futuro resultados más fiables a partir de ensayos PDC [9].

## Referencias

- [1] G. Gómez, “Determinación De Las Ecuaciones De Correlación Entre Los ensayos Que Proporcionan Los Valores De Resistencia De La Subrasante En El Tramo De La Carrera 45 Con Calle 86 Hasta El Parque De Aranjuez Del Sistema De Transporte Masivo Metroplús”, M.S. thesis, Universidad de Medellín, Colombia, 2009 [En línea]. Disponible en: <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/4214>.
- [2] C. A. Tupia, y J. E. Alva, “Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica”, en XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil (Lima), pp. 1-41, 2001.
- [3] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Inv E – 148 -13, Cbr De Suelos Compactados En El Laboratorio Y Sobre Muestra Inalterada, Bogotá D.C.: Instituto Nacional de Vías, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://Labsueloscivil.Upbbga.Edu.Co/Sites/Default/Files/Secci%c3%83%e2%80%9cn%20100%20inv%20e-13.Pdf>
- [4] American Society for Testing and Materials, ASTM D – 1883 - 16 California Bearing Ratio (CBR). West Conshohocken, USA.: American Society for Testing and Materials, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D1883>
- [5] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Inv E – 169 -13, Relación Del Soporte Del Suelo En El Terreno, Bogotá D.C.: Instituto Nacional de Vías, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://Labsueloscivil.Upbbga.Edu.Co/Sites/Default/Files/Secci%c3%83%e2%80%9cn%20100%20inv%20e-13.Pdf>
- [6] American Society for Testing and Materials, ASTM D – 4429 - 16 Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Soils in Place, West Conshohocken, USA.: American Society for Testing and Materials, 2009 [En Línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/Standards/D4429>
- [7] A. Hamid, “The dynamic cone penetration test: a review of its correlations and applications”. In International Conference on Advances in Civil and Environmental Engineering, Pulau Pinang, (Malaysia), 2015.
- [8] S. Wu, y S. M. Sargand, Use of dynamic cone penetrometer in subgrade and base acceptance, USA: Ohio Research Institute for Transportation and the Environment, 2007.
- [9] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Inv E – 172 -13 Uso Del Pentrometro Dinamico De Cono En Aplicaciones De Pavimentos A Poca Profundidad, Bogotá D.C.: Instituto Nacional de Vías, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://Labsueloscivil.Upbbga.Edu.Co/Sites/Default/Files/Secci%c3%83%e2%80%9cn%20100%20inv%20e-13.Pdf>

- [10] American Society for Testing and Materials, ASTM D-6951-09 Standard test method for the use of the Dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications. West Conshohocken, USA.: American Society for Testing and Materials, 2018 [En Línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/gianmelodesouza/astm-d6951-d6951-m09>
- [11] M. Kin, “California bearing ratio correlation with soil index properties”, M.S. thesis, Faculty of Civil Engineering, University Technology Malaysia, 2006.
- [12] P. K. Sahoo, y K. S. Reddy, “Evaluation of subgrade soils using dynamic cone penetrometer”. International Journal of Earth Sciences and Engineering, vol. 2, no. 4, pp. 384-388, August 2009.
- [13] C. Vanags, B. Minasny, y A. McBratney, “The dynamic penetrometer for assessment of soil mechanical resistance”. In Supersoil 2004 Proceeding of the 3th Australian New Zealand Conference, Australia. 2004.
- [14] M. Zumrawi, “Prediction of in-situ CBR of subgrade cohesive soils from dynamic cone penetrometer and soil properties”, no. 6 in Pacific Chemical, Biological & Environmental Engineering Society (APCBEEES), Shanghai Conferences Proceeding, (Shanghai), pp. 116-119, 2014.
- [15] I. Lima, y H. Eduardo, “Resistencia insitu de subrasante utilizando penetrometro dinámico de cono en la ciudad de Ica”, M.S. thesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2012.
- [16] R. Salgado, y S. Yoon, “Dynamic cone penetration test (DCPT) for subgrade assessment”, Technical Summary Technology and Project Implementation Information, vol. 62-7, pp. 1-107, 2003.
- [17] F. Viscarra, “El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos”. Universidad Privada de Bolivia, La Paz, Bolivia, 2006. La Paz, Bolivia: Universidad Privada de Bolivia, 2006. [En Línea]. Disponible en: <http://civil.upb.edu/files/2010/11/EL-CONO-DIN%C3%81MICO-DE-PENETRACI%C3%93N-Y-SU-APLICACI%C3%93N-EN-LA-EVALUACI%C3%93N-DE-SUELOS.pdf>
- [18] J. Zapata, G. Cardona, “Aplicación De Los Sistemas De Información Geografica Para La Gestión De La Malla Vial De La Ciudad De Medellín”, Revista Ingenierías USBMed, Vol. 3, no. 2, pp. 70 – 84, 2012.
- [19] Geotechnics Arauca Laboratorio de suelos, “Estimacion Del Valor De Cbr Usando Penetrometro De Cono Dinamico Estimation Of Cbr Value Using Dynamic Cone Penetrometer”, Mayo 2017 [En línea]. Disponible en: <https://www.geotechnicsarauca.com/wp-content/uploads/2017/07/ESTIMATION-OF-CBR-VALUE-USING-DYNAMIC-CONE-PENETROMETER.pdf>
- [20] The Asphalt Institute, Manual del Asfalto, España: URMO, S.A de ediciones, 1973.
- [21] J. E. Bowles, Manual de laboratorio de Suelos, México: McGRAW-HILL, 1981.
- [22] C. M. Bencardino, Estadística y Muestreo, Colombia: ECO ediciones, 2005.

- [23] S. Aguilar, “Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud”, . Salud en Tabasco, vol. 11, no. 1-2, pp. 333-338, Agosto 2005.
- [24] D. M. Kelmansky, Estadística para todos. Buenos Aires: Ministerio de Educación-Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- [25] J. J. González, “El histograma con la TI-92: optimización de clases”, Números. Revista de Didáctica de las Matemáticas, vol. 61, pp. 67-72, 2005
- [26] L. R. Ojeda, Probabilidad y estadística básica para ingenieros. Ecuador: Escuela superior politécnica del litoral, 2007.