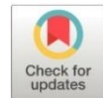


Correlación entre el CBR de laboratorio, el índice DCP y propiedades físicas y mecánicas de suelos granulares

Correlation between laboratory CBR, DCP index and physical and mechanical properties of granular soils

- ¹ Favio Paul Portilla Yandún  <https://orcid.org/0000-0001-6178-1582>
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
fp.portilla@uta.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 09/08/2022

Revisado: 24/09/2022

Aceptado: 31/10/2022

Publicado: 23/11/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i4.1.2396>

Cítese: Portilla Yandún, F. P. (2022). Correlación entre el CBR de laboratorio, el índice DCP y propiedades físicas y mecánicas de suelos granulares. *ConcienciaDigital*, 5(4.1), 45-59. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i4.1.2396>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras

claves: Suelos, subrasante, compactación, CBR, DCP, propiedades, correlación.

Keywords:

Soils, subgrade, compaction, CBR, DCP, properties, correlation.

Resumen

Introducción. El presente estudio propone la utilización de un ensayo simple de evaluación del suelo, como es la Penetración Dinámica de Cono (DCP) y su correlación con el CBR (Relación de Soporte California), un ensayo ampliamente conocido y utilizado para evaluación de suelos de subrasante, subbase y base, el cual es necesario para el diseño y control de la estructura de pavimentos. Este estudio no pretende reemplazar la metodología de evaluación normada de suelos, sino fortalecer la base del diseño preliminar de pavimentos. **Objetivo.** Determinar el nivel de correlación existente entre el CBR, DCP y propiedades físicas y mecánicas de suelos granulares. **Metodología.** Para la realización del estudio se realizaron ensayos de campo y laboratorio para determinar las propiedades, para lo cual se extrajeron 30 muestras de suelo en la sierra norte y centro del Ecuador. La obtención de correlaciones entre estas propiedades se realizó utilizando el método estadístico de mínimos cuadrados. **Resultados.** Se obtuvo la distribución granulométrica, límites de consistencia, clasificación SUCS y AASHTO, densidad seca máxima y humedad óptima, DCP y CBR de las muestras ensayadas. Con estos valores se analizaron varias correlaciones de dos y tres variables entre estas las propiedades. **Conclusión.** Se concluyó que existe un buen nivel de correlación entre varias de las propiedades del suelo analizadas. La correlación CBR-DCP no es significativamente aceptable, sin embargo, se pueden obtener valores cercanos de CBR mediante el uso de otras correlaciones presentadas en esta investigación. **Área de estudio o rama de la ciencia:** Ingeniería Civil

Abstract

Introduction. The present study proposes the use of a simple soil evaluation test, such as the Dynamic Cone Penetration (DCP) and its correlation with the CBR (California Bearing Ratio), a widely known and used test for the evaluation of subgrade, subbase, and base soils. of and subbase, which is necessary for the design and control of the pavement structure. This study is not intended to replace the standardized soil evaluation methodology, but to strengthen the basis for preliminary pavement design. **Objective.** Determine the level of correlation between CBR, DCP and physical and mechanical properties of granular soils. **Methodology.** To conduct the study, field and laboratory tests were performed to

determine the properties, for which thirty soil samples were extracted in the northern and central highlands of Ecuador. Correlations between these properties were analyzed using the least squares statistical method. **Results.** The granulometric distribution, consistency limits, SUCS and AASHTO classification, maximum dry density, and optimum moisture, DCP and CBR of the tested samples were obtained. With these values, several correlations of two and three variables between these properties were analyzed. **Conclusion.** It was concluded that there is a satisfactory level of correlation between several of the soil properties analyzed. The CBR-DCP correlation is not significantly acceptable, however, close CBR values can be obtained by using other correlations presented in this research.

Introducción

La evaluación de la resistencia al esfuerzo cortante es necesaria en la mayoría de los problemas de estabilidad de suelos (Bowles, 1981). Los ensayos CBR y DCP se utilizan a menudo para determinar el nivel de densidad del suelo superficial en estructuras viales (Arbianto et al., 2021). El factor DCP (*Dynamic Cone Penetration*) mide indirectamente esta resistencia que varía de acuerdo con el tipo de suelo y es determinado mediante un ensayo in situ en condiciones naturales del suelo (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2009). Por otro lado, el factor CBR (*California Bearing Ratio*) mide también dicha resistencia, aplicada a suelos de subrasante, subbase y base de pavimentos (Bermúdez et al., 2016), mediante el ensayo de muestras en condiciones de densidad y humedad controladas en laboratorio. La prueba de relación de soporte California (CBR) es una prueba de resistencia simple que compara la capacidad de carga de un material con la de una piedra triturada bien graduada (Ntirenganya, 2020).

El ensayo CBR es costoso, relativamente lento de realizar, mientras que el DCP es liviano y portátil (Al-Refeai & Al-Suhaibani, 1996), y es un ensayo de rápida, sencilla ejecución y bajo costo para la estimación de esta resistencia de los suelos (Paige-Green, 2011). Sin embargo, realizar este ensayo puede requerir mucho trabajo debido a la masa de caída del martillo (Nguyen & Mohajerani, 2012).

Según lo reportado por Livneh (1989), la resistencia a la fricción del suelo en la realización del ensayo DCP puede variar además según el grado de inclinación de la punta cónica del equipo entre 30° y 60°, haciendo que los valores CBR calculados con las ecuaciones de correlación difieran en cierto porcentaje.

Los valores obtenidos del DCP dependen de las condiciones de ensayo. Debido a que varios procedimientos de prueba afectarían los resultados en al menos un 10 por ciento, es preferible realizar todas las pruebas de DCP a través de un orificio perforado (Chen et al., 2001).

Algunas correlaciones han sido reportadas entre el DCP y CBR (Al-Refeai & Al-Suhaibani, 1996), con la finalidad de determinar los valores calculados CBR a partir de los datos obtenidos en campo del DCP, para diferentes tipos de suelo. En la norma de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2009) D6951/D6951M-09, se presenta la ecuación de correlación entre el DCP y el CBR in situ aplicable a cualquier tipo de suelo. En Ecuador existen varias investigaciones de correlación entre estos dos parámetros. Una de estas es el estudio realizado por Gallegos (2022), donde se analiza la correlación entre el DCP y el CBR de laboratorio de los suelos de varios cantones de la provincia de Tungurahua.

Feleke & Araya (2016), presentaron las correlaciones entre el DCP y CBR de laboratorio en condiciones saturadas y no saturadas en suelos granulares y suelos finos de subrasantes localizados en Mekelle, Etiopía, obteniendo mediante análisis de regresión, altos coeficientes R^2 de correlación. Wilches et al. (2018), analizaron la ecuación de correlación entre estos factores, para una muestra de suelos finos de subrasante de la ciudad de Sincelejo, Colombia, obteniendo un alto coeficiente de correlación, indicando que se puede considerar como una alternativa confiable para la determinación indirecta del CBR basado en el índice DCP.

En su estudio Zumrawi (2014), concluye que el DCP es la prueba más simple y económica y se prefiere para predecir el CBR in situ para las diferentes capas de pavimento. Varias correlaciones fueron desarrolladas entre el DCP y CBR. La relación propuesta se desarrolló a partir de las propiedades índice del suelo.

Por otro lado, Encinares & Encela (2022) acotan en su investigación que el usuario debe tener cuidado al obtener datos de la ecuación de correlación desarrollada entre el DCP y CBR de laboratorio, particularmente para suelos fuera del área de estudio y que es necesario realizar trabajos adicionales aumentando el número de muestras para validar la correlación establecida.

Con estos antecedentes, el objetivo de esta investigación es presentar el grado de correlación experimental entre el CBR de laboratorio y DCP para suelos granulares de subrasante de la región andina del centro y norte de Ecuador.

Aplicaremos, un muestreo representativo de los suelos granulares en estado natural a los lados de la carretera Panamericana, cada 14 km., desde la ciudad de Tulcán hasta la ciudad de Riobamba, en Ecuador.

Metodología

Las muestras fueron obtenidas de suelos naturales de subrasante, clasificados según SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y AASHTO, como suelos granulares (no cohesivos). El número de muestras recolectadas fue de 30, mediante un muestreo aleatorio simple, considerado estadísticamente como el límite entre pequeñas y grandes muestras, y para el cual los parámetros estadísticos no sufren mayores variaciones.

El tramo estudiado fue el callejón interandino a lo largo de la carretera panamericana (E-35) cada 14 km. desde la ciudad de Tulcán hasta la ciudad de Riobamba. Las muestras se obtuvieron a uno de los costados de la carretera, en secciones de corte, con el fin de tener suelo natural.

Ensayos de Campo y Laboratorio

Para la obtención de cada muestra se realizó una calicata rectangular de 1.0 m x 1.0 m de área y 1.0 m de profundidad, retirando la capa de suelo vegetal. Se tomó una muestra alterada de aproximadamente 30 kg. en cada punto, para realizar los ensayos de laboratorio respectivos. Los ensayos de campo y laboratorio que se realizaron fueron: Densidad de Campo (cono y arena), DCP, Análisis Granulométrico, Límite Líquido, Límite Plástico, Proctor Modificado y CBR de laboratorio, siguiendo las normas AASHTO y ASTM correspondientes para cada ensayo.

El análisis de las curvas CBR vs. Densidad Seca, se realizó para una penetración del pistón de 0.1 y 0.2 plg. y el valor CBR para cada muestra, se escogió como el mayor de los dos, para el 95% de la densidad seca máxima.

Criterios estadísticos para la obtención de correlaciones

Para la obtención de las correlaciones, se partió del fundamento de que las propiedades índices y mecánicas analizadas de los suelos, tienen una relación matemática con una o varias propiedades. De esta manera se aplicaron algunas leyes de regresión, expresadas en ecuaciones de dos y tres variables que permitieron estimar una de las propiedades a partir del conocimiento de la o las otras.

De esta manera, los modelos que se adoptarán responden a ecuaciones de la forma:

$$y=A+B(x_1)+C(x_2)+\dots$$

$$y=a(x_1)^b(x_2)^c\dots$$

Donde A, B, C, ... y a, b, c, ... son parámetros estimados mediante el método de correlación lineal de Mínimos Cuadrados.

Resultados

Granulometría, Plasticidad y Clasificación de suelos

La clasificación SUCS Y AASHTO de las 30 muestras de suelo estudiadas se puede observar en la tabla 1, con los respectivos valores de granulometría de las fracciones gruesa y fina de los suelos, y los valores de los límites de consistencia e índices plásticos respectivos.

Los porcentajes de grava (% retiene tamiz No. 4) están entre 0 y 24%, arena (% pasa tamiz No. 4) entre 29 y 79%, y finos (% pasa tamiz No. 200) entre 17 y 71%. Los valores de límite líquido varían entre 23 y 70%, mientras que los valores de índice plástico varían entre 0 y 9%.

Tabla 1

Clasificación de los suelos estudiados según los sistemas SUCS y AASHTO

Muestra No.	Referencia	Retiene #4 %	Pasa #200 %	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Índice Plástico %	SUCS	AASHTO
1	Huaca	1	49	51.09	45.14	5.95	SM	A-5(4)
2	San Gabriel	0	60	43.23	34.88	8.35	ML	A-5(5)
3	Bolívar	0	48	37.41	33.54	3.87	SM	A-4(3)
4	El Ángel	0	71	40.38	33.71	6.67	ML	A-4(7)
5	Mira	5	60	31.71	24.61	7.10	ML	A-4(5)
6	Chota	10	26	29.43	27.34	2.09	SM	A-2-4
7	Ibarra	4	47	32.45	25.79	6.66	SM	A-4(2)
8	Atuntaqui	1	56	33.31	29.90	3.41	ML	A-4(4)
9	Otavalo	0	61	34.23	29.20	5.03	ML	A-4(5)
10	Cajas	6	54	37.47	35.54	1.93	ML	A-4(3)
11	Tabacundo	4	56	33.78	30.37	3.41	ML	A-4(4)
12	Cochasquí	1	20	25.74	24.53	1.21	SM	A-2-4
13	Guayllabamba	4	26	28.90	30.23	-1.33	SM	A-2-4
14	Oyacoto	10	35	23.26	23.16	0.10	SM	A-2-4
15	Pomasqui	1	27	25.00	23.12	1.88	SM	A-2-4
16	Cumbayá	2	38	30.15	26.16	3.99	SM	A-4(1)
17	Cutuglahua	2	64	36.47	29.10	7.37	ML	A-4(6)
18	Alóag	1	49	69.89	60.91	8.98	SM	A-5(5)
19	Machachi	2	30	29.52	23.14	6.38	SM	A-2-4
20	Chasqui	20	17	36.90	38.34	-1.44	SM	A-2-4
21	Lasso	3	25	32.00	27.65	4.35	SM	A-2-4
22	Latacunga	0	57	35.73	36.83	-1.10	ML	A-4(4)
23	Salcedo	2	29	26.04	26.78	-0.74	SM	A-2-4
24	Pansaleo	24	19	27.09	23.46	3.63	SM	A-2-4
25	Unamuncho	13	39	30.22	25.54	4.68	SM	A-4(1)
26	Ambato	2	48	28.92	22.68	6.24	SM	A-4(3)
27	Huachi G.	3	51	27.72	24.44	3.28	ML	A-4(3)
28	Mocha	1	47	43.76	41.25	2.51	SM	A-5(3)
29	San Andrés	4	43	25.57	23.28	2.29	SM	A-4(2)
30	Riobamba	11	29	23.38	20.45	2.93	SM	A-2-4

Las propiedades mecánicas de las muestras de suelo analizadas, en los ensayos de Densidad de campo, Proctor Modificado, CBR y DCP se presentan en la tabla 2. Particularmente, los valores CBR varían entre 7.8 y 53.8 %, los valores DN varían entre 3.26 y 50.41 mm/golpe.

Tabla 2

Propiedades Mecánicas de los suelos estudiados.

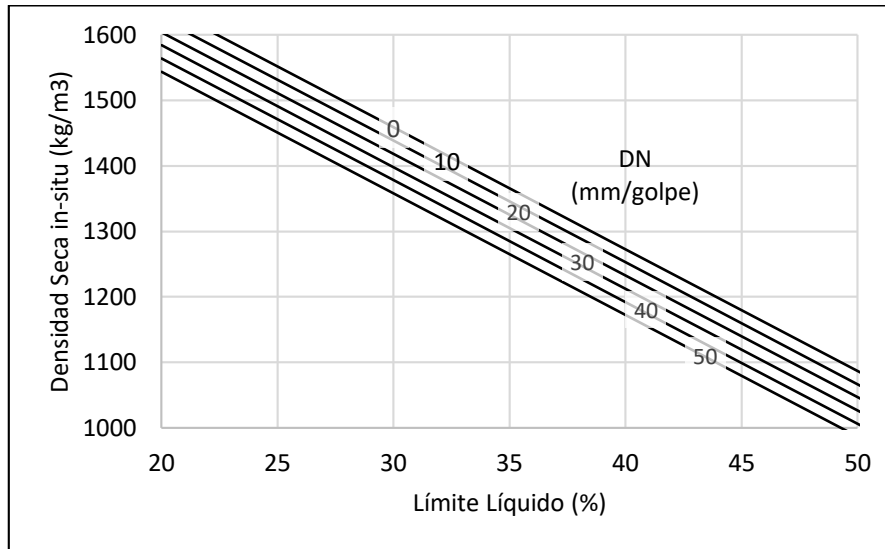
Muestra No.	D.S in-situ kg/m ³	D.S máxima kg/m ³	Humedad Óptima %	CBR %	DN mm/golpe
1	1,143	1,390	28.3	15.0	50.41
2	1,183	1,393	28.9	7.8	7.28
3	1,195	1,485	24.8	16.7	3.26
4	1,149	1,412	29.7	14.3	14.81
5	1,378	1,685	16.6	21.0	8.11
6	1,716	1,783	17.1	30.7	10.82
7	1,293	1,501	23.2	19.4	2.51
8	1,613	1,733	15.9	33.8	22.13
9	1,228	1,555	20.9	20.7	13.38
10	1,317	1,558	21.8	10.8	13.28
11	1,425	1,596	20.5	15.0	4.08
12	1,547	1,716	13.9	44.0	5.73
13	1,288	1,726	12.7	38.0	10.06
14	1,473	1,756	12.5	45.8	13.88
15	1,592	1,796	12.7	53.0	19.58
16	1,089	1,708	16.7	32.7	19.69
17	1,186	1,626	17.0	34.5	21.64
18	0,838	1,156	38.7	4.8	31.77
19	1,181	1,529	19.5	31.5	14.53
20	0,883	1,076	27.9	43.2	11.15
21	1,261	1,554	20.6	19.0	16.29
22	0,988	1,562	19.6	52.0	29.52
23	1,854	1,649	14.2	50.0	12.87
24	2,129	1,855	10.8	50.0	7.40
25	1,441	1,687	17.4	53.8	11.10
26	1,513	1,696	17.0	26.7	12.60
27	1,319	1,718	15.3	48.4	11.21
28	1,251	1,528	23.5	28.0	12.45
29	1,679	1,746	13.0	27.0	5.48
30	1,714	1,820	13.3	45.0	5.43

Correlación 1: Límite Líquido – DCP - Densidad Seca In Situ

Se utilizó el método de correlación de mínimos cuadrados con un número de 30 muestras, obteniendo un coeficiente de regresión lineal de 0.66. La ecuación de la correlación es $\gamma_{d \text{ in situ}} = 2016.1 - 2.014 * DCP - 18.586 * LL$.

Figura 1

Correlación Límite Líquido – DCP – Densidad Seca in situ



Con esta correlación, se utilizaron los valores de límite líquido y DCP determinados mediante los ensayos de laboratorio y de campo respectivamente, para calcular los valores de densidad seca in situ mediante la ecuación dada, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3

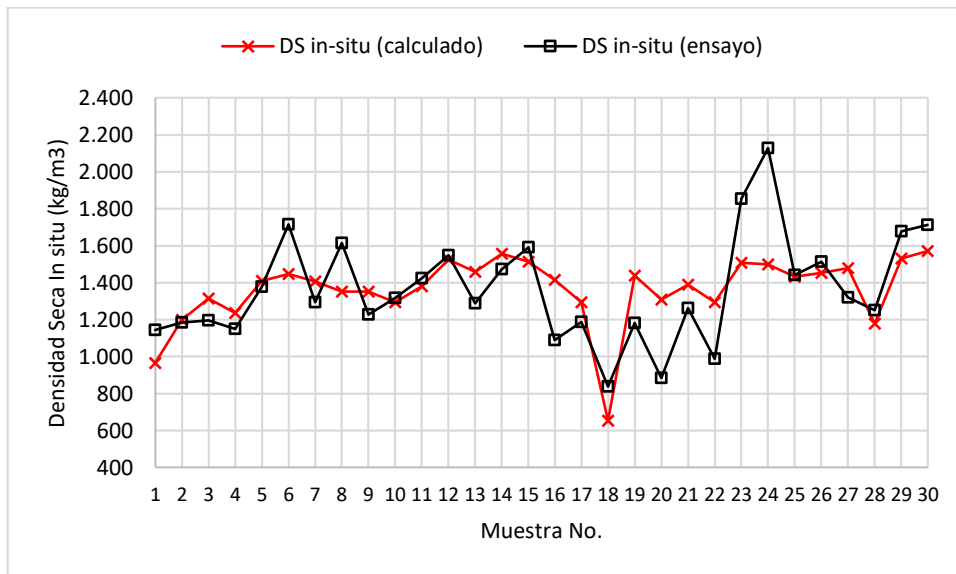
Valores calculados de Densidad Seca in-situ mediante la ecuación de correlación

Muestra No.	DS in-situ kg/m ³ (calculado)	Muestra No.	DS in-situ kg/m ³ (calculado)	Muestra No.	DS in-situ kg/m ³ (calculado)
1	965	11	1,380	21	1,389
2	1,198	12	1,526	22	1,293
3	1,314	13	1,459	23	1,506
4	1,236	14	1,556	24	1,498
5	1,410	15	1,512	25	1,432
6	1,447	16	1,416	26	1,453
7	1,408	17	1,295	27	1,478
8	1,352	18	653	28	1,178
9	1,353	19	1,438	29	1,530
10	1,293	20	1,308	30	1,571

La figura 2 representa los valores de Densidad Seca in-situ obtenidos mediante el ensayo y los valores calculados con la ecuación de la correlación DCP - LL – DS in-situ.

Figura 2

Comparación de valores de Densidad Seca in-situ obtenidos mediante ensayo y correlación

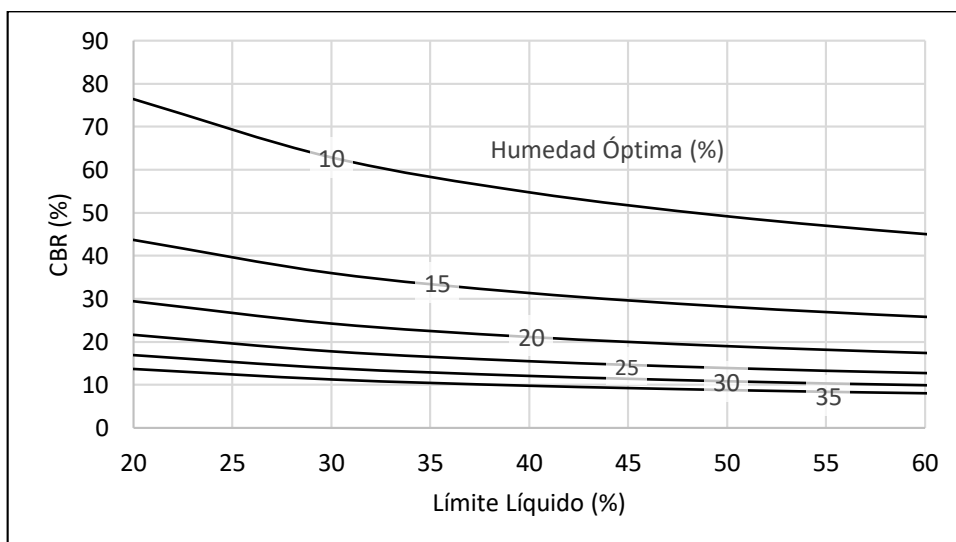


Correlación 2: Límite Líquido – Humedad Óptima - CBR

Se utilizó el método de correlación de mínimos cuadrados con un número de 29 muestras, obteniendo un coeficiente de regresión de 0.85. La ecuación de correlación es $CBR = 7673.6 / (LL^{0.481} * W_{opt}^{1.376})$

Figura 3

Correlación Límite Líquido – Humedad Óptima – CBR



Con esta correlación, se utilizaron los valores de Límite Líquido y Humedad Óptima determinados mediante los ensayos de laboratorio, para calcular los valores de CBR mediante la ecuación dada, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4

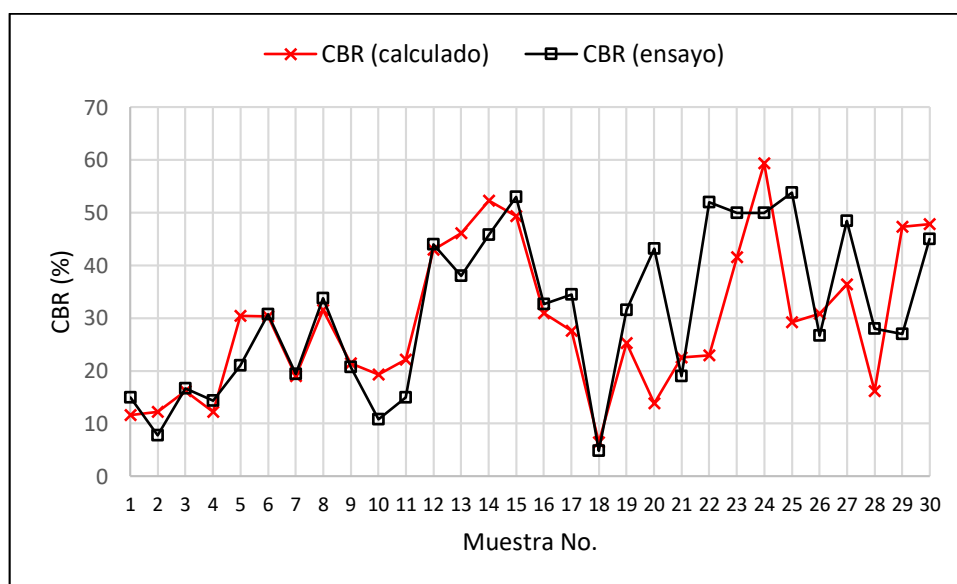
Valores calculados de CBR mediante la ecuación de correlación

Muestra No.	CBR % (calculado)	Muestra No.	CBR % (calculado)	Muestra No.	CBR % (calculado)
1	11.6	11	22.1	21	22.5
2	12.2	12	43.0	22	22.9
3	16.2	13	46.1	23	41.5
4	12.2	14	52.3	24	59.4
5	30.5	15	49.4	25	29.2
6	30.3	16	31.0	26	30.8
7	19.0	17	27.6	27	36.4
8	31.6	18	6.5	28	16.2
9	21.4	19	25.3	29	47.3
10	19.3	20	13.9	30	47.9

La figura 4 representa los valores de CBR obtenidos mediante el ensayo y los valores calculados con la ecuación de la correlación LL – HO – CBR.

Figura 4

Comparación de valores de CBR obtenidos mediante ensayo y correlación

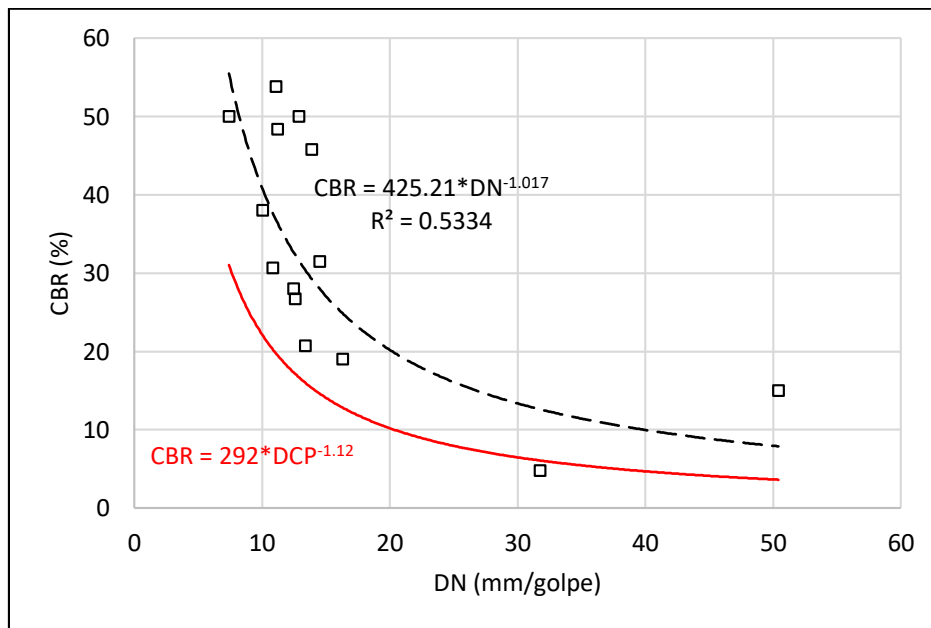


Correlación 3: CBR – DCP

En el gráfico siguiente se puede observar la dispersión de 14 puntos con coordenadas DCP y CBR, de los valores obtenidos en campo y laboratorio, respectivamente. Se utilizó el método de correlación de mínimos cuadrados, encontrando un coeficiente de regresión potencial de 0.58. La ecuación de esta correlación es $CBR=425.21*DCP^{-1.017}$. La línea continua representa la correlación DCP-CBR de la norma ASTM D 6951.

Figura 5

Correlación 3: CBR – DCP



Discusión

En la correlación Límite Líquido – DCP - Densidad Seca In Situ (figura 1), se puede observar un coeficiente de correlación medio de 0.66. Los valores calculados de la densidad seca in situ (figura 2), tienen en general una aproximación a los valores de ensayo, para la mayoría de las muestras, sin embargo, para ciertas muestras existe una diferencia significativa. Teniendo en cuenta que la correlación compara dos variables de campo, con una de laboratorio, en diferentes condiciones, la misma puede ayudar en la determinación aproximada de la Densidad Seca in-situ para el tipo de suelos estudiados.

La correlación Límite Líquido, Humedad Óptima, CBR, es alta con un coeficiente de 0.85 (figura 3). Los valores de CBR calculados mediante esta correlación (figura 4), son muy aproximados a los valores determinados en laboratorio, para la mayoría de las muestras. Es decir, para un determinado suelo granular, si se obtienen los valores de límite líquido y humedad óptima mediante los ensayos respectivos, se pueden determinar valores muy

aproximados de CBR, que podrían ser utilizados en un estudio preliminar de suelos y diseño de pavimentos.

La correlación entre el CBR y DCP (figura 5), utilizando 14 muestras presenta un coeficiente de correlación potencial medio de 0.58. La curva de regresión obtenida es paralela y semejante a la curva de la norma ASTM D 6951.

Conclusiones

- Los suelos de subrasante estudiados, desde Tulcán hasta Riobamba a lo largo de la carretera Panamericana, son suelos granulares del tipo SM y ML (SUCS) y del tipo A-2-4, A-4 y A-5 (AASHTO). Estos suelos poseen una considerable cantidad de arena, finos de intermedia a baja plasticidad.
- De las 30 muestras de suelo analizadas, poseen similares como su color, tipo o clasificación, humedad y densidad, sin embargo, varían apreciablemente en otras propiedades como son límite líquido, límite plástico, distribución granulométrica, CBR y DCP.
- Las correlaciones propuestas son aplicables únicamente a este tipo de suelos granulares, para los cuales su distribución granulométrica este en el rango indicado y mientras sus propiedades índice y mecánicas presenten valores cercanos a los obtenidos.
- La baja correlación entre los valores CBR y DCP puede deberse a que el CBR de laboratorio es obtenido en condiciones controladas de humedad y densidad, mientras que el ensayo DCP es realizado en condiciones naturales del suelo.
- Para mejorar la correlación CBR vs. DCP, para este tipo de suelos, se debería incrementar el número de muestras que tenga similares propiedades a las 14 muestras que fueron seleccionadas para mejorar la correlación.
- Un método posible para obtener una buena correlación entre estos dos parámetros sería realizando los ensayos en condiciones idénticas, ya sea con moldeo de muestras gemelas o ensayos in-situ.

Referencias Bibliográficas

Al-Refeai, T., & Al-Suhaibani, A. (1996). Prediction of CBR Using Dynamic Cone Penetrometer. *J. King Saud Univ., Vol. 9, Eng. Sci. (2), pp 191-204.* <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1018363918306767?token=CD77A32BD1E89EB38FC25C579FF3D0E0A7952404BAAB89A97F7B1E38EFB5EBE6D31339A123E0C2748FA1C9D63E481AF8&originRegion=us-east-1&originCreation=20221115134056>

Arbianto, R., Yuono, T., & Gunarso. (2021). Comparison of California Bearing Ratio (CBR) Value Based on Cone Penetration Test (CPT) and Dynamic Cone

Penetrometer (DCP). *Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering*. Vol. 4, No. 2, pp 70-78. https://www.researchgate.net/publication/356173348_Comparison_of_California_Bearing_Ratio_CBR_Value_Based_on_Cone_Penetration_Test_CPT_and_Dynamic_Cone_Penetrometer_DCP

American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2009). ASTM D6951/D6951M–09 Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications. Astm, (June), 1–7. <https://doi.org/10.1520/D6951>

Bermúdez, J., Vásquez, O., & Moncada, R. (2016). Validación del método de DCP aplicado en campo con relación al ensayo CBR en laboratorio. *Laccei.Org*. <http://www.laccei.org/LACCEI2016-SanJose/StudentPapers/SP61.pdf>

Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Ed. Mc. Graw Hill. México.

Chen, D.-H., Wang, J.-N & Bilyeu, J. (2001). Application of Dynamic Cone Penetrometer in Evaluation of Base and Subgrade Layers. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 1764(1):1-10. https://www.researchgate.net/publication/245559755_Application_of_Dynamic_Cone_Penetrometer_in_Evaluation_of_Base_and_Subgrade_Layers

Encinares, E., & Encela, J. (2022). Prediction of California Bearing Ratio (CBR) using Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for Soils from Second District in the Province of Sorsogon. *United International Journal for Research & Technology*, Vol. 3, Issue 05, pp 12-16. <https://uijrt.com/articles/v3/i5/UIJRTV3I50003.pdf>

Feleke, G. G., & Araya, A. A. (2016). Prediction of CBR Using DCP for Local Subgrade Materials. *International Conference on transport and road research*, 1–23. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a09dcc40f0b652dd001b8e/61280-GG_FelekeAA_Araya-PredictionCBRUsingDCPLocalSubgradeMaterials-ICTRR2016-ReCAP.pdf

Gallegos, G. (2022). “Análisis de resultados de proyecto macro: correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos”. *Tesis UTA. Ambato*. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/35948>

Livneh, M. (1989). Validation of correlations between a number of penetration tests and in situ California bearing ratio tests. *Transportation Research Record No. 1219, Geotechnical Engineering*, pp 56-57. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1989/1219/1219-006.pdf>

- Nguyen, B., & Mohajerani A. (2012). A new lightweight dynamic cone penetrometer for laboratory and field applications. *Australian Geomechanics Journal*. 47. https://www.researchgate.net/publication/302951841_A_NEW_LIGHTWEIGHT_DYNAMIC_CONE_PENETROMETER_FOR_LABORATORY_AND_FIELD_APPLICATIONS
- Ntirenganya, N. (2020). Development of Correlation between Soaked CBR and In-Situ CBR Determined by DCP for Soil in the Southern Province of Rwanda. *International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM)*, Vol. 8, Issue 01, pp 314-318. <https://ijsrm.in/index.php/ijsrm/article/download/2512/1976/6757>
- Paige-Green, P. (2011). Applying the dynamic cone penetrometer (DCP) design method to low volume roads. *Proceedings of the 15th African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, pp 422–430. <http://researchspace.csir.co.za/dspace/handle/10204/5271>
- Wilches, F. J., Feria Diaz, J. J., & Hernández Ávil, J. R. (2018). Correlation between California Bearing Ratio (CBR) and Dynamic Cone Penetrometer (DCP) for soil from Sincelejo city in Colombia. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(4), pp 2068–2071. http://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n4_37.pdf
- Zumrawi, M. M. E. (2014). Prediction of In-situ CBR of Subgrade Cohesive Soils from Dynamic Cone Penetrometer and Soil Properties. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 6, No. 5, pp 439-442. https://www.researchgate.net/publication/267630199_Prediction_of_In-situ_CBR_of_Subgrade_Cohesive_Soils_from_Dynamic_Cone_Penetrometer_and_Soil_Properties

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

