

Estudio para determinar la capacidad portante del suelo como parámetro geotécnico, aplicando el ensayo de cono dinámico de penetración (DCP), en los terrenos aledaños a la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas

Aragundi Demera Milagro Lupita¹, Delgado Romero Carla Monserrate¹, Ortiz Hernández Eduardo Humberto¹, Delgado Gutiérrez Daniel Alfredo¹

¹Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo.
maragundi7739@utm.edu.ec, cdelgado9859@utm.edu.ec, ehortiz@utm.edu.ec, dadelgado@utm.edu.ec

Abstract- The present investigation is based on the development of a study that determines the soil bearing capacity as a geotechnical parameter, applying the DCP penetration dynamic cone test, in the adjacent areas to the Faculty of Mathematical, Physical and Chemical Sciences. The values obtained from the DCP index correlated with experimental formulas allowed obtaining the soil bearing capacity, also establishing parameters such as grain size, humidity, compaction, Atterberg limits, resilient module regulated by the AASTHO, subsequently characterizing the different samples from the results obtained in the soil mechanics laboratory.

When defining the results obtained in the investigation, parameters were determined that detail the composition of the soil at the study site, in which a CBR was obtained categorizing it as "poor to regulate" in terms of the quality of the subgrade. Furthermore, the texture of the material was classified as silt soils from low to high plasticity. Thus, it is proposed to use the information obtained in the investigation for the projection of future civil works that contribute to the integral development of this alma mater.

Index Terms- California Support Value (CBR), Dynamic Standard Penetration Cone (DCP), Resilient Module, Test, Subgrade, Pavement.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se puede decir que no hay una terminología única para designar las diferentes capas que forman un pavimento Rígido Flexible o Articular. Sin embargo esta estructura en su forma más completa, cada una cumplen una función específica. Con este fin, se dará la realización del estudio investigativo y analítico de la capacidad portante del suelo que presentan los terrenos aledaños a la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, de la Universidad Técnica de Manabí. Sin dejar de lado los requerimientos, de equipos de laboratorio de Mecánica de Suelos y ensayos

de campo, que serán utilizados en el desarrollo de este estudio investigativo. Esto conlleva, a mejorar el trabajo mediante herramientas necesarias para esta actividad a realizarse, con la utilización de un equipo de campo llamado Ensayo de Cono Dinámico de Penetración DCP que servirá como una plataforma de información para la aplicación de diversas construcciones de estructuras de pavimentos que se realice. El DCP es un instrumento diseñado para el rápido uso en pavimento que permite obtener las propiedades del suelo de manera fácil y en zonas difíciles de ingresar. Una de las mecánicas del DCP es producir el valor de CBR en campo, a través de mediciones del índice de penetración en suelos inalterados. El CBR in situ se puede obtener por medio de una fórmula que es el resultado de la correlación entre el ensayo del DCP con el CBR en laboratorio. La correlación de las dos variables ha dado lugar a una fórmula empírica definida por la norma (ASTMD6951M-09, 2009), donde el valor del DCP obtenido en campo, se emplea para encontrar un CBR de campo que se aproxime lo más posible al CBR que se obtiene en laboratorio según menciona (Sierra, 2016).

Según (Tipán, 2002) menciona que este ensayo permite correlacionarlo con el ensayo de Penetración Estándar SPT; así mismo, el DCP es uno de los numerosos métodos de ensayo de campo desarrollados para miniaturizar la prueba de penetración estándar SPT, pues se trata de un aparato operado a mano y mucho más liviano y manejable.

Equipo de Cono Dinámico de Penetración y Especificaciones Técnicas

El DCP fue desarrollado por (SCALA, A. J., 1956); estudios realizados en campo por (LIVNEH, M., and ISHAI, I., 1987) y (KLEYN, E. G., 1975), han sido básicos para la evaluación de pavimentos. Posteriormente se ha difundido su uso en Inglaterra, Australia, Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos. La

normativa (ASTMD6951M-09, 2009), determina el equipo a utilizar en la aplicación del ensayo de DCP, como se ilustra en la figura 1, el cual para esta investigación basándonos en las especificaciones técnicas de ensayo se utilizó, un martillo de peso de 8 kg donde este tiene una caída libre de 575 mm y una punta de cono con un ángulo de 60° con un diámetro de 20 mm donde esta pieza es intercambiable.

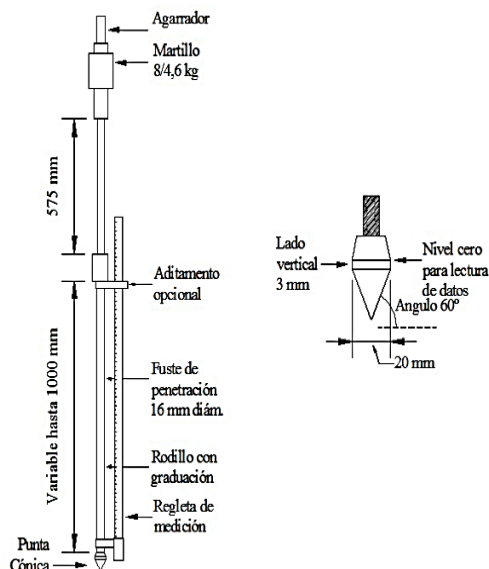


Figura 1 Equipo de Cono Dinámico de Penetración (ASTM D-6951-03).

En la provincia de Córdoba-Argentina se realizó estudios del control de densidad y compactación de sub-rasantes y sub-bases de pavimentos que es uno de los factores principales que limitan el avance constructivo de carreteras, presentando la potencial aplicación del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para la determinación de densidades y humedades en suelos A4-8 compactados. A partir de estos resultados, se muestra que es posible obtener correlaciones muy útiles entre los resultados del DCP y la densidad y humedad del suelo compactado. Finalmente, se concluye que el DCP proporciona información valiosa que puede ser utilizada como complemento de los métodos de control de compactación tradicionales, disminuyendo el tiempo empleado en el control constructivo en las obras de compactación de suelos (Frateschi, Francisca, Bollano, Degoy, & Tanco, 2001).

II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología utilizada en esta investigación se basó en las siguientes:

1. Recolección y Preparación de las muestras de suelo en el laboratorio.
2. La elaboración de ensayos para la determinación de sus propiedades

físicas del suelo como son su caracterización, determinación de la Densidad y humedad óptima.

3. Elaboración de ensayos específicos de estudio como la determinación de resultados correlacionando el índice de DCP de campo con las formulas planteadas para todo tipo de suelos propuestas por (KLEYN, E. G., 1975), para la obtención de los valores de CBR
4. De los valores obtenidos por el DCP y calculados los CBR de campo se determinó los módulo de resiliencia "Mr" del suelo propuestos por la AASTHO por formulas experimentales obtenido de la tabla N°2.
5. Procesamiento de los resultados y su interpretación.

III. ANALISIS Y RESULTADOS DE LAS CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DE LAS MUESTRAS SUJETAS A ESTA INVESTIGACION.

A continuación se analizan los resultados obtenidos a través de la aplicación y ejecución de los ensayos de suelos y formulas experimentales, relacionados con los objetivos planteados.

En la Tabla N°1, se reflejan las características y parámetros geotécnicos tomados en el sitio, mencionando la variabilidad que presenta el área de estudio, cuya localización se encuentra en las coordenadas:

COORDENADAS			
SONDEOS	LATITUD	LONGITUD	COTA
1	9885028,03 N	560394,57 E	64
2	9885058,18 N	560405,09 E	70
3	9885053,49 N	560373,98 E	67
4	9884959,02 N	560297,89 E	48
5	9884982,60 N	560297,89 E	49

Tabla N°1 Coordenadas UTM

Muestra	Clasificación (AASHTO)	Clasificación (SUCS)	Humedad (w) (%)	Límite líquido (%)	Índice plástico (%)	Índice de liquidez (%)	Índice de grupo (%)
1	A-7-5	MH	38,85	54,05	18,34	0,17	19,75
2	A-7-6	ML	38,51	46,37	16,62	0,53	17,17
3	A-7-5	ML	41,13	46,08	12,18	0,59	3,40
4	A-7-6	ML	36,20	46,72	22,51	0,77	13,33
5	A-7-6	CL	38,65	45,59	23,72	0,85	15,42

Tabla N°2 .Resumen de parámetros geotécnicos que intervienen en la clasificación del suelo.

En la Tabla N°3, se plantea el módulo resiliente (Mr) como parámetros para caracterizar las propiedades de soporte de los materiales.

AASHTO	
El Módulo de Resiliencia se obtiene en función del C.B.R., utilizando las siguientes formulas matemáticas:	
ECUACION	OBSERVACIONES
$Mr(psi)=1500 \cdot CBR$	Para CBR menor a 10%
$Mr(psi)=3000 \cdot CBR^{0,65}$	Para CBR de 10 a 20%
$Mr(psi)=4326 \cdot \ln(CBR)+241$	Para suelo granulares con CBR mayor al 20%

Tabla N°3 Módulos Resiliente “Mr” propuestos por la AASTHO por la correlación con el CBR (%).

La (ASTMD6951M-09, 2009), norma que rige el uso del equipo de DCP, establece la utilización de una fórmula recomendada por la US Army Corpost of the Engineers. Dicha aplicación de esta fórmula experimental surge a partir de la correlación entre la penetración por golpe (DCP) y (CBR).

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}}$$

IV. INTERPRETACION DE CURVAS

En la Figura N°2 se ilustra cada capa existente del suelo, que se las divide por líneas rectas, como además se puede realizar la medición del número de espesores que presenta la estratigrafía del suelo. En el sondeo N°1 se puede apreciar espesores aproximados de 0-20 cm, 20-55 cm y de 55-100 cm, con valores de índice de DCP de 5 mm/golpe, 15 mm/golpe y 38 mm/golpe. Para el sondeo N° 2 se considera un espesor aproximado de 0-18 cm, 18-65 y de 65-92 cm, con valores de índice de DCP de 2 mm/golpe, 10 mm/golpe y 30 mm/golpe.

En el sondeo N° 3 se presenta espesores aproximados de 0-33 cm, 33-60 cm y 60-94 cm, con valores de índice de DCP de 5 mm/golpe, 10 mm/golpe, 15 mm/golpe y 20 mm/golpe. En el sondeo N° 4 se presenta espesores aproximados de 0-17 cm, 17-39 cm y 39-100 cm, con valores de índice de DCP de 2 mm/golpe, 5 mm/golpe y 25 mm/golpe.

En el sondeo N° 5 se presenta espesores aproximados de 0-35 cm, 35-60 cm y 60-100 cm, con valores de índice de DCP de 10 mm/golpe, 20 mm/golpe y 38 mm/golpe. Dando como resultado de la interpretación de la Fig N°2, la formación de líneas rectas que muestran la homogeneidad de la capa de suelo, que dan lugar a una pendiente conocida como el índice de DCP.

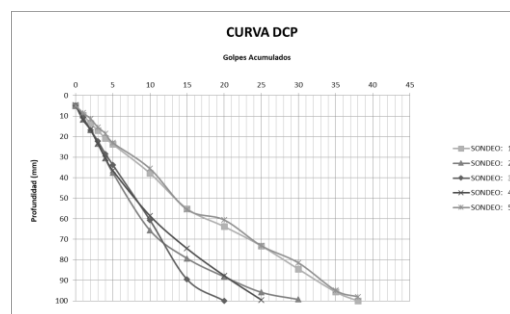


Figura N°2 Representación gráfica de las penetraciones acumuladas en función del número de golpes de las calicatas.

En la Figura N°3 se ilustran las penetraciones realizadas a diferentes espesores. En el sondeo N°1 se estima la uniformidad que presenta el material dentro de un rango de profundidad de 0-18 cm, 18-50 cm y de 50-90 cm. En el sondeo N°2 se estima la uniformidad que presenta el material dentro de un rango de profundidad de 0-25 cm, 25-60 cm y de 60-90 cm. En el sondeo N°3 se estima la uniformidad que presenta el material dentro de un rango de profundidad de 0-29 cm, 29-56 cm y de 56-84 cm. En el sondeo N°4 se estima la uniformidad que presenta el material dentro de un rango de profundidad de 0-27 cm, 27-70 cm y de 70-95 cm. En el sondeo N°5 se estima la uniformidad que presenta el material dentro de un rango de profundidad de 0-31 cm, 31-70 cm y de 70-94 cm. Los cambios que se representan en la gráfica denotan alteraciones de humedad, densidad y ciertas modificaciones relativos al suelo. Este tipo de valoración demuestra los cambios o alteraciones que produce el suelo al consolidarse.

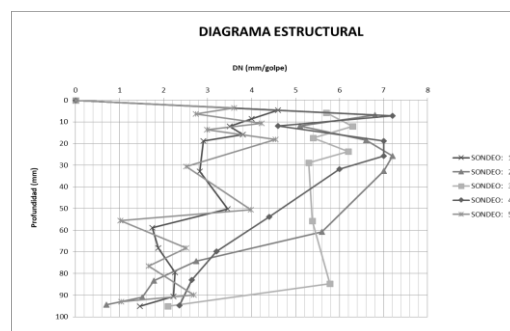


Figura N°3 Representación gráfica del diagrama estructural en función del número de golpes acumulados.

En la Figura N°4 se muestran las distintas capas de suelo a través de los porcentajes de DCP, indicando la uniformidad del material con respecto a la profundidad con que se realizaron las penetraciones. Las curvas que se obtuvieron en la gráfica del balance estructural relaciona el porcentaje de golpes requeridos para penetrar cierta profundidad, respecto del número total de golpes necesario para penetrar la profundidad evaluada, Normalmente la capacidad de soporte de un pavimento decrece con la profundidad y si

dicha disminución es uniforme se considera que el pavimento se encuentra estructuralmente equilibrado (Tupia Córdova, 2001).

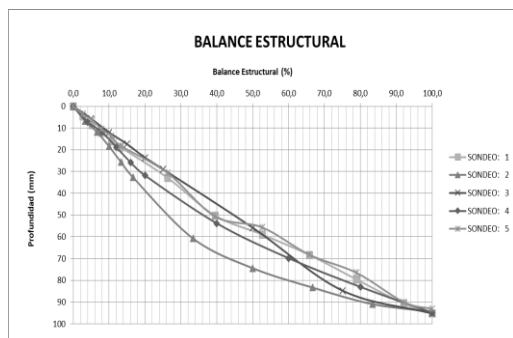


Figura N°4 Representación gráfica del balance estructural en relación a los porcentajes de DCP.

V. COMPARACIÓN ENTRE DCP Y RESISTENCIA DEL SUELO.

CORRELACION ENTRE EL MODULO RESILIENTE, EL CBR			
N° DE MUESTRAS	Mr (lb/pulg ²)	CBR (%)	DCP (mm/golpe)
1	8261	5,51	35
2	6158	4,11	45
3	6631	4,42	42
4	6258	4,17	44
5	8574,93	5,72	34

Tabla N°3 Correlaciones entre el CBR, DCP y Mr.

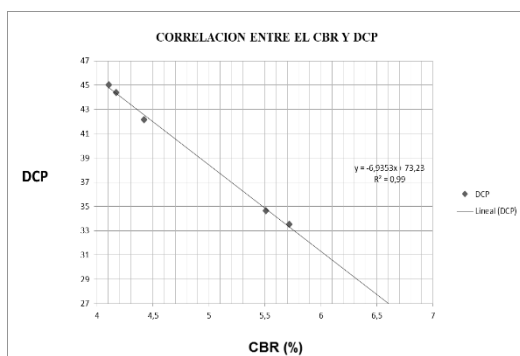


Figura N°5 Representación gráfica del % de concordancia entre el DCP y CBR

En la siguiente grafica se plantean valores entre DCP y CBR, ejecutados in situ, los cuales demuestran una confiabilidad entre los puntos de sondeos, dando como resultado una correlación del 0,99 (99%) con un 0,01 (1%) de error. El análisis de los datos experimentales indicó que existe una muy buena relación lineal de la resistencia del suelo medida (es decir, CBR y DCP sin remojar) con el factor de estado inicial del suelo (Zumrawi, 2014).

VI. CONCLUSIONES

A través de 5 sondeos se aplicó el ensayo in situ de DCP, con el objetivo de encontrar un valor de CBR, mediante la utilización de una formula experimental planteada por la (ASTMD6951M-09, 2009), con la cual se comprobó su validez y utilización en los suelos limo-arcilloso.

Esta investigación no intenta reemplazar los sistemas o metodologías de estudio tradicionales in situ o de laboratorio. Sin embargo, es una aportación que manifiesta la estimación del DCP como un ensayo adicional para comprobar las condiciones que presenta el suelo o el área de estudio.

Es por esta razón que el aplicar el DCP en la obtención del CBR de campo, para una subrasante natural, proporcionara una mejor interpretación de las curvas suelo que se generan a partir de la medición de los estratos o capas de suelo.

VII. REFERENCIAS

- ASTMD6951M-09. (2009). Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. American Society for Testing and Materials, 04, 03 - (2009).
- KLEYN, E. G. . (1975). The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Report 2/74, Transvaal Roads Department, Pretoria, South Africa, july, p. 35. .
- LIVNEH, M., and ISHAI, I. (1987). Pavement and Material Evaluation by a Dynamic Cone. SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE STRUCTURAL, Vol 1, p. 665-674.
- SCALA, A. J. (1956). Simple Methods of Flexible Pavement Design Using Cone. PROCEEDINGS OF THE SECOND AUSTRALIAN SOIL MECHANICS CONFERENCE, New Zealand, New Zealand Engineer, Vol 11 No.2, pp. 34-44. .
- SIERRA, J. D. (2016). Validación Del Método De Dcp Aplicado En Campo En Relación Al Ensayo Cbr En Laboratorio. 14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology "Engineering Innovations for Global Sustainability".

TIPÁN, C. O. (2002). Estudio experimental del penetrómetro dinámico de cono DCP y su aplicación en la exploración y muestreo de suelos para diseño de cimentaciones. Bachelor's thesis, QUITO/PUCE/2002.

TUPIA CÓRDOVA, C. A. (2001). Determinación de las características de soporte de un terreno de cimentación de un pavimento por medio de un equipo dinámico.

ZUMRAWI, M. M. (2014). Prediction of in-situ CBR of subgrade cohesive soils from dynamic cone penetrometer and soil properties. International Journal of Engineering and Technology, 6(5), 439.

FRATESCHI, A., FRANCISCA, F. M., BOLLANO, L., DEGOY, A., & TANCO, A. (2001). Aplicación del dcp en el control de subrasantes y terraplenes.



Delgado Romero C. M. Profesionista Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Carrera Ingeniería Civil. Realiza su trabajo de

titulación en la modalidad de Artículo Académico en el área de Mecánica de Suelos. Se dedica a la investigación en temas vinculados al comportamiento del suelo para el diseño estructural.



Aragundi Demera M. L. Profesionista Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Carrera Ingeniería Civil. Realiza su trabajo de titulación en la

modalidad de Artículo Científico enfocado en el área de mecánica de suelo. Se dedica a la investigación en temas relacionados con la correlación del Dcp y CBR.



Ortiz Hernández E. H. Ingeniero Civil, Magister en Construcción de Obras Viales especialista en Mecánica de Suelos, Pavimento y Laboratorio Profesor de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador materias impartidas son Mecánica de Suelos 1, Mecánica de Suelos 2, Geotecnia, Obras Viales y Pavimentos.



Delgado Gutiérrez D. A. Ingeniero Civil graduado en la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador, Magister en Ingeniería Civil y Construcciones Civiles graduado en el Instituto Politécnico

de Leiria-Portugal. Docente/Investigador de la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador. Miembro activo del grupo de Investigación "GEORIESGOS" de la Universidad Técnica de Manabí. Imparte disciplinas relacionadas con la Mecánica de los fluidos, Hidráulica e Ingeniería de Tránsito y Transporte. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5251-8037>