

VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE DCP APLICADO EN CAMPO EN RELACIÓN AL ENSAYO CBR EN LABORATORIO

Josué Daniel Bermúdez Sierra

Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, josue21@unitec.edu

Oswaldo Andrés Vásquez Sikaffy

Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, oswaldovs@unitec.edu

Mentor: Rigoberto Moncada López, M. Sc.

Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, rigoberto.moncada@unitec.edu

Abstract- The paper reveals the results of the study on the validation of the DCP (Dynamic Cone Penetrometer) method to find a CBR (California Bearing Ratio) in situ that can be compared with a CBR obtained in laboratory. Samples were taken from four construction material quarries in the area of Tegucigalpa, Honduras; soil types were mainly sandy silt and gravel with presence of sand. To perform such investigation, it was necessary to determine in situ conditions of density and moisture content using a nuclear densimeter.

Subsequently, these conditions were reproduced in laboratory with the compaction method of Proctor Modified, to find a laboratory CBR.

This was done in order to have the same conditions that allow a proper verification of the correlation between the CBR found using the DCP with the CBR measured in laboratory. Below, it is explained in detail the analysis process where it were verified that those study soils selected met the correlation of the DCP method with the CBR according to the equation proposed by ASTM D 6951 standard for the soils analyzed. Samples are highly representative, therefore it's validated that the ASTM D 6951 standard can be applied.

Key words: CBR, DCP, experimental correlation, in situ test, nuclear densimeter.

Resumen- El documento revela los resultados del estudio de la validación del método DCP (Dynamic Cone Penetrometer) para encontrar un CBR (California Bearing Ratio) in situ que se pueda comparar con un CBR determinado en laboratorio. Las muestras utilizadas fueron de cuatro bancos de material en la zona de Tegucigalpa, Honduras; los suelos principalmente son de tipo arenoso limoso y gravoso arenoso. Para realizar dicha investigación fue necesario determinar las condiciones in situ de densidad y contenido de humedad a través de un densímetro nuclear. Posteriormente fueron reproducidas dichas condiciones con el método de compactación Proctor Modificado para encontrar el CBR en laboratorio. Esto se realizó con el fin de tener las mismas condiciones que permitan una correcta comprobación de la correlación entre el CBR encontrado a través del DCP con el CBR determinado en laboratorio. Se detalla el proceso de análisis de resultados donde se verifica que los suelos seleccionados para el estudio cumplen con la correlación del método del DCP con el CBR de acuerdo a la ecuación planteada por la norma ASTM D 6951 para los suelos analizados. Las muestras son altamente representativas, por lo tanto se valida que la norma ASTM D 6951 se puede aplicar.

Palabras claves: CBR, correlación experimental, DCP, densímetro nuclear, ensayos in situ.

I. Introducción

El CBR es un ensayo que permite determinar la capacidad soportante del suelo para evaluar la calidad de la sub rasante, base y sub base de los pavimentos. El CBR se puede obtener a través de ensayos en laboratorio y en campo. Las ventajas de obtener un CBR en campo es que se generan resultados más rápidos con menores costos y tiempos; en cambio el CBR en laboratorio presenta un procedimiento más elaborado que prolonga el tiempo de entrega de resultados a pesar que el valor obtenido es muy confiable. 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 ASTM D 6951 donde el DCP de campo se usa para encontrar un CBR de campo que se acerque lo más posible al CBR de laboratorio.

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 facultades mecánicas del DCP es producir el valor de CBR en campo a través mediciones del índice de penetración en suelos inalterados.

Esencialmente la investigación se basa en un procedimiento para la obtención de datos de laboratorio y de campo por medio de diferentes ensayos de mecánica de suelos, con el fin de confirmar si se puede validar una correlación entre el método del DCP y el CBR para las muestras de este estudio.

En Honduras existe la necesidad de proyectos de investigación enfocados en comprobar las validaciones realizadas en otros países, sobre la correlación de nuevas metodologías y técnicas implementadas que sirven para obtener resultados que se generan a través de ensayos habituales y prolongados. Por lo que se ha desarrollado dicha investigación con el fin de brindar resultados que indiquen si las correlaciones pueden ser aplicables para los suelos de Honduras en la ciudad de Tegucigalpa.

Hoy en día la sociedad cuestiona la validez de las metodologías tradicionales. Razón por la cual esta investigación surgió de la necesidad de realizar un estudio que se desarrollara tanto en campo como en el laboratorio, para facilitar los procesos de estudios de suelo para obras de infraestructura vial.

II. Objetivo de la Investigación

Confirmar a través de diferentes pruebas tanto en campo como en laboratorio si en efecto la correlación generada por la norma ASTM D 6951 es aplicable y válida para los suelos que son comúnmente utilizados

* Se agradece el apoyo logístico y financiero por la empresa hondureña GeoConsult S.A de C.V.

en Tegucigalpa, Honduras como material selecto para base y sub – base; consecuentemente realizar una regresión con los ensayos realizados para comparar y verificar que los suelos de las muestras tienen un comportamiento que pueden ser predichos o descritos por la norma ASTM D 6951.

III. Metodología

Los bancos de material fueron seleccionados por su importancia en la construcción de carreteras en la zona central del país y como material para relleno en ciertas edificaciones; ya que son los bancos de material más utilizados.

A continuación en la **Tabla 1** se presentan las coordenadas de los bancos de material estudiados.

Tabla 1 Coordenadas UTM de los Bancos de Material

Banco de Material	Coordenadas UTM (WGS84 Z16P Norte)	
	Este(X)	Norte(Y)
El Lolo	472,545.65 m	1,561,910.02 m
Aldea Cerro Grande	476,787.25 m	1,560,881.02 m
Guasculile	478,414.66 m	1,552,651.10 m
International School	474,430.96 m	1,565,195.09 m

Se inició con el proceso de los ensayos geotécnicos que se realizaron en los bancos de material. Un resumen de este proceso se puede observar en la **Fig. 1**. Se seleccionaron 5 puntos de estudio alrededor de cada banco de material para recuperar 5 muestras de suelo por banco.

Se realizó el ensayo con el Densímetro Nuclear para obtener la densidad in situ y el porcentaje de humedad presente en la zona. Luego se desarrolló el ensayo del DCP (**Fig. 2**), que permitió encontrar un valor de CBR *in situ* con la ecuación ASTM D 6951. En cada uno de los cinco puntos seleccionados dentro de los bancos de material, se determinaron diez lecturas de los golpes necesarios para la penetración a cada 5 cm, hasta lograr una profundidad máxima de 50 cm. Para 3 casos se realizó el ensayo de densidad in situ por medio del cono de arena Ottawa, estos casos fueron para las muestras de material localizadas en el sitio de la International School. Para ello se excavó un área de 50 x 50 cm para realizar el ensayo del cono de arena Ottawa con el fin de verificar la densidad del sitio, ya que esta área permitió realizar un agujero de 15 cm de profundidad y con un diámetro de 4.75 pulgadas para la colocación del cono de arena.

Se recuperaron muestras de suelo de las calicatas de 50 cm³ que fueron realizadas en cada uno de los bancos de material, con el fin de hacer los ensayos correspondientes para encontrar un valor de CBR en el laboratorio, ver **Fig. 3**. Posteriormente se seleccionaron 20 moldes, 5 moldes por cada muestra de los bancos de material. El equipo para el ensayo consistió en un molde cilíndrico con un diámetro interior de 152.4 mm y con una altura de 175 mm. Seguidamente para las muestras obtenidas en campo, pasaban a una fase de compactación por método de Proctor Modificado. En donde se variaban la cantidad de golpes por capas para lograr llegar a la densidad que en sitio se había obtenido. Para algunos casos que no se logró llegar a la densidad de sitio se agregó un porcentaje de agua para lograr mejorar la humedad de la muestra de suelo y así poder incrementar el valor de la densidad del suelo hasta alcanzar la densidad encontrada in situ. El porcentaje de humedad fue calculado por regla de tres a través del dato que el densímetro nuclear determinó.

Debido a la cantidad de energía que requería el suelo para lograr una compactación favorable se decidió compactar la cantidad de 50, 70, 80 y

100 golpes por capa. Para lograr que la compactación fuese homogénea se colocó un alza de metal debajo de la superficie de compactación para lograr que las ondas por golpe se transmitieran de forma uniforme, la norma ASTM D 1883 establece que sea pesada y de hierro. El alza o disco espaciador tiene una altura de 47.7 mm y un diámetro de 148 mm.

Una vez lograda la compactación de las 20 muestras se pesaron individualmente y se le colocó una pesa de sobrecarga de 4500 kg en la superficie del suelo compactado, esto debido a que sería sometido a condiciones severas, puesto que se colocaron sobre una pila con agua, sumergidos durante 96 horas (4 días). Antes de colocarlos sobre agua se tomó una lectura a través de un dial, para así determinar pasados 4 días el hinchamiento final, este dato era importante para conocer qué tan plástico era el material.

Luego de haber obtenido el hinchamiento final fue pesada la muestra de suelo dentro del molde y llevada a una máquina de carga para obtener una curva de fuerza-penetración hasta obtener los valores de las tensiones necesarias para lograr una penetración de 2.5 mm y 5 mm., ver **Fig. 4**. Puesto que los valores de CBR en laboratorio son usados usualmente para diseño, se calculan para las penetraciones de 2.5 mm y 5 mm.

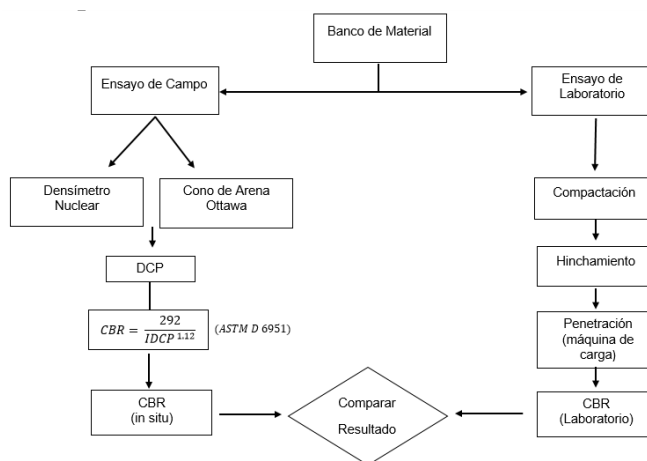


Fig. 1 Diagrama de Flujo Metodológico



Fig. 2 Instrumento del DCP

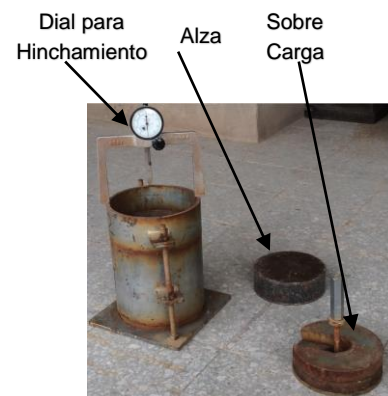


Fig. 3 Instrumento del CBR



Fig. 4 Máquina de carga para compresión

IV. Resultado y Análisis

A continuación se presentan las **Tablas 2-5** con todos los resultados geotécnicos que se obtuvieron en campo con los índices de penetración por el instrumento del DCP para encontrar los valores de CBR en el sitio. El valor de CBR *in situ* se encontró aplicando la fórmula de la regresión potencial con los resultados de las muestras (RM) y aplicando la fórmula de la norma ASTM D 6951 a los datos generados por el DCP. Se presenta el valor de CBR experimental encontrado en laboratorio con la máquina de carga y el porcentaje de error entre el DCP aplicando la fórmula dada por la norma ASTM D 6951 con el resultado de CBR experimental de laboratorio. Finalmente se clasificaron las muestras de suelo de cada banco de material de acuerdo al valor de CBR experimental tomando en cuenta su resistencia y capacidad de soporte referentes a los parámetros de diseño de pavimentos en carreteras.

Tabla 2. Resultados Geotécnicos del Banco de Material del Lolo

Resultados Geotécnicos							
UBICACIÓN	Prom IDCP	CBR RM (En Sitio)	CBR-ASTM (En sitio)	CBR-EXP	% de Error	Tipo de Suelo	Clasificación
LOLO	4.75	58.30	57.82	58.04	0.38	GM	Base Buena
LOLO	6.31	41.48	40.91	41.00	0.22	GW-SW	Sub-base Buena
LOLO	6.14	45.36	44.83	44.98	0.33	SM	Sub-base Buena
LOLO	30.00	8.83	8.51	8.43	1.01	SC	Sub-rasante Mala
LOLO	3.02	96.58	96.51	81.93	17.80	GW-SC	Base muy Buena

Tabla 3. Resultados Geotécnicos del Banco de Material Aldea Cerro Grande

Resultados Geotécnicos							
UBICACIÓN	Prom IDCP	CBR RM (En Sitio)	CBR-ASTM (En sitio)	CBR-EXP	% de Error	Tipo de Suelo	Clasificación
A. C. GRANDE	31.67	7.40	7.11	7.00	1.55	SP-ML	Sub-rasante Mala
A. C. GRANDE	38.33	6.54	6.28	6.27	0.14	SP-ML	Sub-rasante Mala
A. C. GRANDE	28.75	8.32	8.01	7.92	1.16	SM	Sub-rasante Mala
A. C. GRANDE	35.00	7.45	7.16	7.26	1.33	SM	Sub-rasante Mala
A. C. GRANDE	6.51	43.14	42.59	42.78	0.44	GP-SW	Sub-base Buena

Tabla 4. Resultados Geotécnicos del Banco de Material Guasculile

Resultados Geotécnicos							
UBICACIÓN	Prom IDCP	CBR RM (En Sitio)	CBR-ASTM (En sitio)	CBR-EXP	% de Error	Tipo de Suelo	Clasificación
GUASCULILE	21.67	10.12	9.76	9.61	1.59	SM	Sub-rasante Mala
GUASCULILE	3.29	90.32	90.18	89.71	0.52	GW-SC	Base muy Buena
GUASCULILE	24.17	9.68	9.33	9.35	0.17	ML-CL	Sub-rasante Mala
GUASCULILE	4.93	60.67	60.23	32.23	86.87	GP- SM	Sub-base Buena
GUASCULILE	3.79	76.11	75.78	65.00	16.59	GW-SM	Base Buena

Tabla 5. Resultados Geotécnicos del Banco de Material International School

UBICACIÓN	Prom IDCP	CBR RM (En Sitio)	CBR-ASTM (En sitio)	CBR-EXP	% de Error	Tipo de Suelo	Clasificación
INT. SCHOOL	25.42	10.19	9.84	9.72	1.20	SP-ML	Sub-rasante Mala
INT. SCHOOL	17.55	14.99	14.57	4.45	227.40	MH-CH	Sub-rasante muy Mala
INT. SCHOOL	24.17	9.68	9.33	3.70	152.27	SP-ML	Sub-rasante muy Mala
INT. SCHOOL	18.38	14.52	14.11	14.10	0.09	SW-SM	Sub-rasante Regular a Buena
INT. SCHOOL	9.63	14.52	34.45	34.25	0.58	GP-SC	Sub-base Buena

Para demostrar que las pruebas analizadas comprueban que la relación DCP/CBR es válida por la norma ASTM D 6951, se realizó el siguiente procedimiento:

Se obtuvieron diez lecturas de penetración por golpe con el instrumento del DCP por cada muestra de suelo, se calculó un promedio, se utilizó la función establecida por la norma ASTM D 6951 y se graficó esta función junto con los datos de DCP/CBR obtenidos. En la **Fig. 5** se puede observar que los valores calculados se comportan de acuerdo a la ecuación ASTM D 6951.

Con los datos del CBR obtenido en laboratorio, se hizo una línea de regresión que mostró la ecuación $(CBR=292/IDCP^{1.12})$, dicha línea de tendencia indicó como los valores se asemejan entre ambos ensayos.

Se realizó una regresión potencial con los datos generados por el DCP *in situ* con el CBR en laboratorio para confirmar que la función obtenida con esta regresión fuera similar a la de la norma ASTM D 6951. De ser similares ambas funciones se puede establecer que las muestras trabajadas son válidas para el uso de la función de la norma.

La función encontrada con los datos de los resultados de las muestras (RM) fue $(CBR=287.58/IDCP^{1.03})$ con un coeficiente de correlación de 0.94.

En la **Fig. 6** se aprecia la regresión realizada y se confirma que la función obtenida es muy similar a la que establece la norma ASTM D 6951 con un coeficiente de determinación de 0.88.

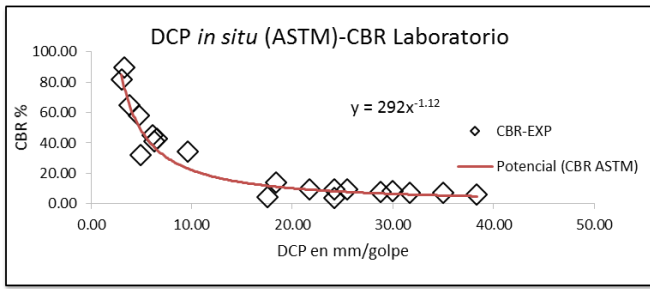


Fig. 5 Gráfica del DCP in situ ASTM-CBR Laboratorio

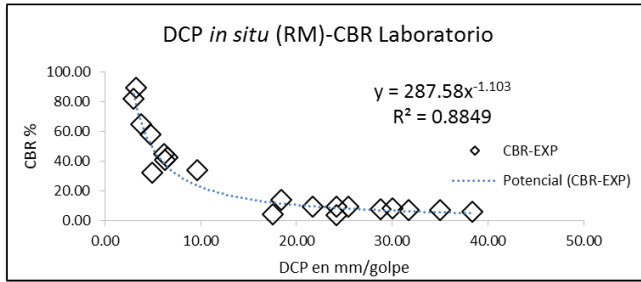


Fig. 6 Gráfica del DCP in situ RM-CBR Laboratorio

Se graficó la función establecida por la norma ASTM D 6951 junto con la generada con los suelos de Tegucigalpa, Honduras. Ver Fig.7. Ambas funciones poseen una tendencia ascendente, a mayor índice de DCP mayor porcentaje de CBR. La tendencia de dichas muestras trabajadas es altamente representativas del método que se utilizó.

La Fig. 8 muestra como varían los resultados entre los datos obtenidos del CBR en laboratorio con el DCP correlacionado con la función establecida por la norma ASTM D 6951 para obtener un CBR in situ. La presencia de fragmentos rocosos altero las lecturas de algunas de las muestras ya que el instrumento del DCP se usa en suelos poco profundos.

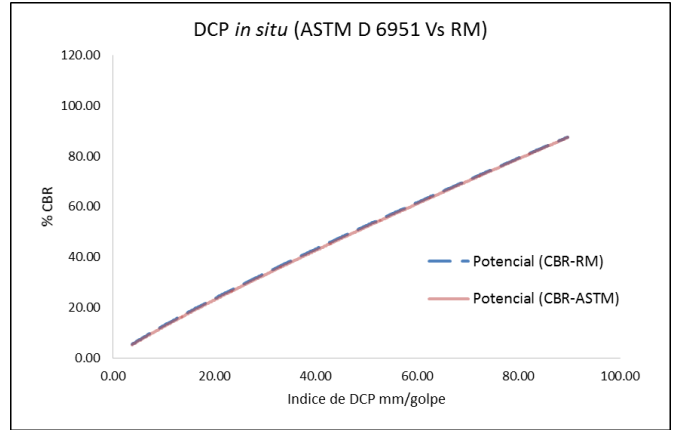


Fig. 7 Gráfica de Comparación de los Resultados del ensayos DCP con la función establecida por la norma ASTM D 6951 Vs. la función correlacionada con los suelos de Tegucigalpa, Honduras.

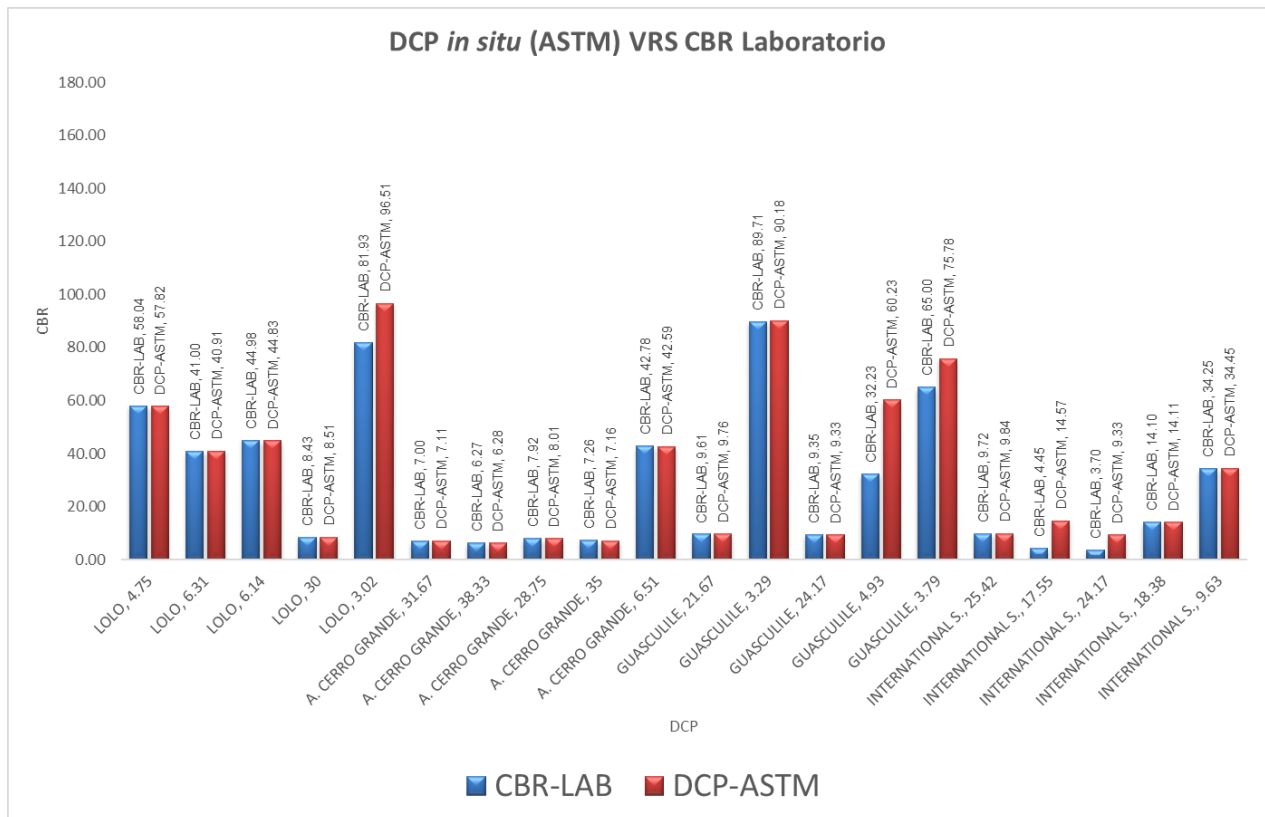


Fig. 8 Gráfica CBR ASTM Vs CBR Experimenta

V. Conclusiones

Por medio de 20 pruebas se aplicó el ensayo del DCP para encontrar un valor de CBR en campo y se obtuvieron muestras de suelo para determinar el CBR en laboratorio. Se comprobó que en efecto la fórmula establecida por la norma ASTM D 6951 es válida y aplicable en los suelos de Tegucigalpa.

El conjunto de datos obtenidos en campo y en laboratorio se aproximaron a la función indicada por la norma ASTM D 6951.

Se terminó de confirmar esta correlación aplicando a los datos obtenidos una regresión potencial que resultó en una función con coeficientes similares a la de la norma. Por lo que se puede afirmar que para los suelos estudiados es válido determinar un CBR *in situ* con la metodología descrita en este documento.

En algunos suelos no aplica esta relación debido a la presencia de fragmentos rocosos.

VI. Reconocimientos

Los autores agradecen el apoyo logístico y financiero brindado por la empresa hondureña GeoConsult S.A. de C.V. De igual forma se agradece el apoyo otorgado por parte de los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), con especial reconocimiento a los ingenieros con M. Sc. David Rodríguez, Mauro Torres y Rigoberto Moncada. Asimismo se reconoce el apoyo otorgado por los ingenieros con Ph. D. Carlos Arias y Desiree Tejada.

VII. Referencias

- [1]. J. Scala "Simple Method of Flexible Pavement Design Using Cone Penetrometers" - in Proc. 2nd Australian - New Zealand Conference On Soil Mechanics And Foundation Engineering - Volume 11, No. 12 - (New Zealand 1956)
- [2]. ASTM International - "Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications" - American Society for Testing and Materials- ASTM D 6951- 09 (2015), Volume 04, 03 - (2009).
- [3]. ASTM International - "Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory - Compacted Soils" - American Society for Testing and Materials - ASTM D 1883 - 07, Volume 04, 08 - (2007).
- [4]. ASTM International - "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))" American Society for Testing and Materials- ASTM D 1557 - 12e1, Volume 04, 08 - (2012).
- [5]. Bessone E., Delprato F - "Correlación Entre los Parámetros Geotécnicos y el Ensayo Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP). Su Empleo en la Gestión de Inspección de Obra"- GeoBA, XV Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica - (2000 Argentina) - pp: 45-46.
- [6]. BSc. Simo Tosovic, MSc. Vladeta - "CBR Testing with Dynamic Conical Penetrometer in the Process of Road Rehabilitation and Construction Control" - SLOVENSKI KONGRES O CESTAH IN PROMETU - (October 20 - 22, 2010) - pp: 1372-1377.
- [7]. Er. Younis Faoq, Prof. Ajay K. Duggal - "Case Study on Correlation between California Bearing Ratio (CBR) and Dynamic Cone Penetration Test (DCPT)"- International Journal of Civil and Structural Engineering Research - ISSN: 2348 - 7607, available at: www.researchpublish.com - Volume 03, Issue 01 - (April - September 2015) - pp: 39-41.
- [8]. Kleyn, E.G., Van Van Zyl, G.D. - "Appliaction of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) to Light Pavement Design" - Proceedings of First International Symposium on Penetration Testing, Orlando Florida -

A.A. Balkema Publishers, Rotterdam Netherlands - (1998) - pp: 435 - 444.

- [9]. K.S. Gill, J.N. Jha, A. K. Choudhary - "CBR Value Estimation Using Dynamic Cone Penetrometer" - India Geotechnical Conference - 2010, Geotrendz (16 -18 December 2010) IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay.
- [10]. M. M. E. Zumrawi - "Prediction of In - situ CBR of Subgrade Cohesive Soils from Dynamic Cone Penetrometer and Soil Properties" - IACSIT International Journal of Engineering and Technology - DOI: 10.7763/IJET.2014.V6.738 - Volume 06, No. 05 - (October 2014) - pp: 439 - 442.
- [11]. Mukesh A. Patel, Dr. H.S. Patel - "Laboratory Assessment To Correlate DCP And Optimum Moisture Content With Strength Characteristic Of Subgrade" - International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) - ISSN: 2248 - 9622 www.ijera.com - Volume 02, Issue 6 - (November - December 2012, India) - pp: 800 - 805.
- [12]. P.K. Sahoo, K. Sudhakar Reddy - "Evaluation of Subgrade Soils Using Dynamic Cone Penetrometer" - International Journal of Earth Sciences and Engineering - ISSN: 0974 - 5904 - Volume 02, No. 04 - (August 2009) - pp. 384 - 388.
- [13]. S. Shankar, Y. Ravi - "IN SITU Strength Evaluation of Pavement Layers of Low Volume Road Using Dynamic Cone Penetrometer (DCP)" Transactions on Engineering and Sciences - ISSN: 2347 - 1964, Volume 02, Issue 08 - (August 2014, India) - pp: 42-47.
- [14]. V. Emre UZ, Mehmet Saltan - "Comparison of DCP, CBR, and RLT Test Results for Granular Pavement Materials and Subgrade with Structural Perspective"- International Symposium - (15 -17 September 2015, Berlin, Germany) M. King and B. Zhu, "Gaming strategies," in Path Planning to the West, vol. II, S. Tang and M. King, Eds. Xian: Jiaoda Press, 1998, pp. 158-176.
- [15]. Younis Faoq, Ajay K. Duggal, Vinod Kumar Sonthwal - "An Experimental Study On Correlation Between California Bearing Ratio (CBR) And Dynamic Cone Penetration Test (DCPT)"- International Journal of Modern Trends in Engineering and Research (IJMTER) - ISSN: 2349 - 9745 - Volume 02, Issue 08 - (August 2015) - pp. 15-19 M. King, B. Zhu, and S. Tang, "Optimal path planning," Mobile Robots, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.

VIII. Autorización y Exención de Responsabilidades

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el documento en las actas y demás documentación del congreso. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido, ni por las implicaciones de lo que se expresa en el documento.