

Análisis comparativo de suelo de campo y laboratorio para la medición de su capacidad portante con ensayos de Valor de Soporte de California (CBR) y Cono Dinámico de Penetración (DCP) en la Universidad Técnica de Manabí.

*Mejía Vera Christopher Alexander¹, Gilces Delgado Jaime Ricardo¹, Ortiz Hernández Eduardo Humberto¹ García Vínces Jimmy Jeffrey¹
Universidad Técnica de Manabí¹
cmejia7582@utm.edu.ec, jgilces4650@utm.edu.ec, ehortiz@utm.edu.ec, jvjgarcia@utm.edu.ec*

Recibido : 20/05/2020

Aceptado:10/06/2020

Abstract— The purpose of this investigation is to determine direct correlations by means of laboratory tests for the index of resistance to the cut of the Dynamic Cone of Penetration (DCP), with the resistance to cut California Bearing Ratio (CBR) of the soil, where it presents an alternative to establish Design criteria for pavement structures, based on physical and mechanical tests, taking samples by means of soil exploration, they were subsequently processed in the laboratory demonstrating their properties where silts and clays with a high degree of plasticity predominate.

Correlations proposed by (Van Vuuren, 1969) were taken, which experimentally mentions an equation suitable for all types of soils and the most accurate according to its reliability, the Dynamic Cone developed by (Scala, 1956), which, experimentally presents the following results in the field: The N°1 poll a 4.7% CBR, the N°2 poll a 3.61% CBR and the N°3 poll a 3.37% CBR, these mentioned parameters were obtained in a corresponding way from the DCP index of 40 mm/stroke, 50 mm/stroke, and 54 mm/stroke, in addition to laboratory tests that a more conservative parameter results were obtained for the poll N°1 a CBR of 3.98% the Poll, N°2 a CBR of 3.40% and the Poll N°3 a CBR of 3.20%.

Index Terms— Dynamic Cone of Penetration (DCP), California Bearing Ratio (CBR), Poll, Correlations, Test.

I. INTRODUCCION

Actualmente se viene presentados problemas en las estructuras de pavimento debido a las deformaciones, donde se vio la necesidad de evaluar parámetros de CBR tanto en campo como laboratorio, los estudios de suelos han ido evolucionando con el paso del tiempo con ensayos tradicionales demostrando parámetros geotécnicos con menor margen de error al investigar correlaciones correspondientes al Cono Dinámico de Penetración (DCP). La cual es una herramienta útil, multifuncional, su uso trae una gama de beneficios. Sin embargo, es necesaria una buena interpretación para determinar parámetros de diseño finales más confiables, optimizando tiempo, dinero, recursos humanos y mecánicos (Viscarra, 2006).

El trabajo fue realizado en la ciudad de Portoviejo de la Provincia de Manabí, en los predios de la Universidad Técnica de Manabí específicamente en la Facultad de Ciencia Matemáticas, Físicas y Químicas, donde se realizó la extracción de muestra mediante calicata a cielo abierto, una vez obtenidas las muestras se procedió a analizarlas en laboratorio para conocer sus características principales y el tipo de suelo sometiéndolas a ensayos en condiciones críticas, demostrando que las propiedades del suelo predominan limos y arcillas con alto grado de plasticidad, se utilizaron formulas experimentales aptas para todo tipo de suelo ya sean granulares y cohesivos propuestas por (Van Vuuren, 1969), se analizaron las propiedades físicas mecánicas del suelo con la finalidad de realizar una comparación entre sus valores de CBR de campo y laboratorio.

En Ecuador las instituciones públicas a cargo de proyectos viales utilizan equipos y personal técnico especializado en laboratorio de suelos, para el análisis de la capacidad portante o prueba de resistencia al esfuerzo cortante basándose en las normas técnicas del país (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002), como ensayos de CBR que es uno de los más comunes a su exactitud y calidad en resultados sin embargo existen otros como el Cono Dinámico de penetración (DCP) que permite obtener parámetros de resistencia del suelo aunque este ensayo es un método experimental que se plantea en esta investigación para la correlación de ambos. Además, esta metodología se la ha aplicado en el estudio de la correlación entre en ensayo DCP y CBR en la vía Misahuallí - Atacapi, hace posible determinar la estructuración del pavimento más adecuada para su diseño (Manotoa, 2016).

Además se han realizado investigaciones haciendo uso del DCP en Ecuador aplicadas en la provincia de Manabí en la ciudad de Manta donde se determinó que, el estudio de la resistencia al corte conocido como CBR realizado en muestras inalteradas de suelo, a más de brindarnos valores de CBR para diseño de pavimentos flexibles, nos muestra valores representativos y comparativos con otros estudios, para lograr evaluar la propiedad de la subrasante y la capacidad de soporte (Anchundia & Jimbo, 2015).

Como otras investigaciones realizadas en Ecuador donde se correlacionó las propiedades de suelos finos aplicado en la ciudad de Quito, sector Carapungo, se determinó que, siendo la resistencia del suelo de subrasante, uno de los estudios prioritarios para el diseño vial, se ha creído conveniente estudiar la correlación entre el CBR de laboratorio y natural en suelos finos y el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (DCP),

con el fin de obtener una fuente confiable que permita ser adaptada para el diseño de pavimentos flexibles de manera técnico y además que garantice las condiciones de comodidad, economía y seguridad (Angamarca, 2013).

Como se manifiesta anteriormente el DCP es una herramienta útil para establecer diseño de estructuras de pavimentos, con el fin de que el valor obtenido como el CBR sea un parámetro geotécnico imprescindible para las obras de ingeniería.

II. METODOLOGÍA

La metodología de investigación el cual se realizó se dividió en las siguientes etapas:

1. Aplicación del dispositivo DCP en el área de estudio.
2. Obtención y preparación de las muestras de suelo mediante calicatas
3. Elaboración de ensayos en el laboratorio para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos como Humedad Natural, Granulometría, Límites de Atterberg, Densidad Máxima Seca, CBR.
4. Determinación de los valores de CBR hecho en laboratorio.
5. Aplicación de las correlaciones para la obtención del CBR.
6. Elaboración y análisis de los resultados mediante cuadros estadísticos.

III. CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN (DCP)

El cono dinámico de penetración (DCP) es un dispositivo o equipo utilizado para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados (American Standard Testing Materials, 2003), el equipo DCP se muestra esquemáticamente en la figura N°1, fuente tomada de (American Standard Testing Materials, 2003), dónde se identifica los elementos que lo conforman, el manejo del dispositivo consiste en levantar el martillo de 8Kg hasta la manija y tope superior, dejándolo caer sin ejercer fuerza hasta que golpee el yunque de acople.

La penetración total para un determinado número de golpes es medida y registrada en términos de milímetros por golpe (mm/golpe), valor que es utilizado para describir la rigidez, para estimar una resistencia CBR in-situ a través de una correlación apropiada o para establecer otras características del material (American Standard Testing Materials, 2003).

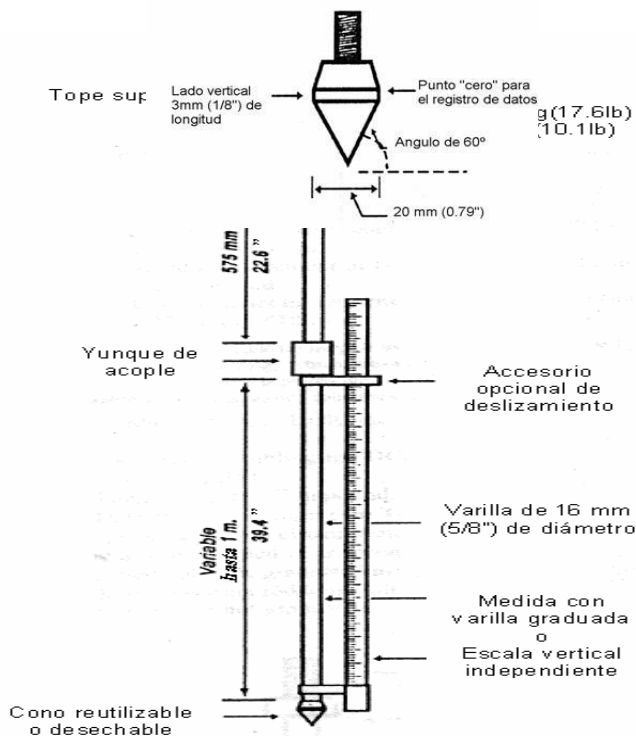


Figura N°1. Esquema del equipo DCP

IV. ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

Para llevar a cabo la investigación se partió seleccionando el lugar de estudio cumpliendo todas las normativas desde la exploración de muestras del terreno hasta los ensayos de laboratorios, basándonos en las especificaciones de las Normas Técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (Especificaciones generales del MOP, 2002), el mismo que se extrajeron muestras de suelo realizando tres sondeos utilizando en cada una el equipo de campo llamado Cono Dinámico de Penetración DCP. Es una herramienta útil para el control del proceso constructivo de estructuras pequeñas, donde no se cuenta con un presupuesto para realizar un estudio de suelo, que requiera equipo de perforación especializado o en donde no hay acceso para una máquina perforadora (Navarro-Martínez, 2004). Con estos resultados que se obtuvieron permitió correlacionar la capacidad portante del suelo y posterior mente mediante los ensayos de laboratorio identificar sus características y propiedades, es decir el ensayo DCP puede generar un gran aporte a la investigación en los pavimentos, para evaluar suelos de diferentes características geotecnias con valores confiables y de un método no destructivo.

V. INTERPRETACION DE CURVA DE DCP

El diagrama de la Figura N°2 denota los distintos estratos de suelos en función a la profundidad, también se puede estimar los espesores de cada capa: Para el primer sondeo espesor 30 cm, para el segundo sondeo espesor 40 cm y para el tercer sondeo espesor 30 cm encontrando así una similitud en los estratos de suelos en el área de investigación.

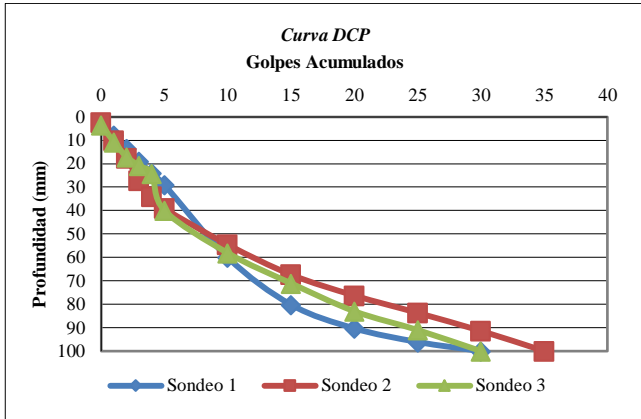


Figura N°2 – Curva DCP para diferentes capas de suelo.

VI. INTERPRETACION DE DIAGRAMA ESTRUCTURAL

En la Figura N°3 nos muestra un diagrama estructural para cada sondeo de DCP, donde relaciona en el eje de las abscisas los DN como índice de DCP en mm/golpe y en el eje de las ordenadas la profundidad de penetración. Donde mencionado que la constancia en dicho número DN implica la uniformidad del estrato y cuando hay dicha variación indica un cambio en sus propiedades como la humedad, densidad o algún cambio del material existente.

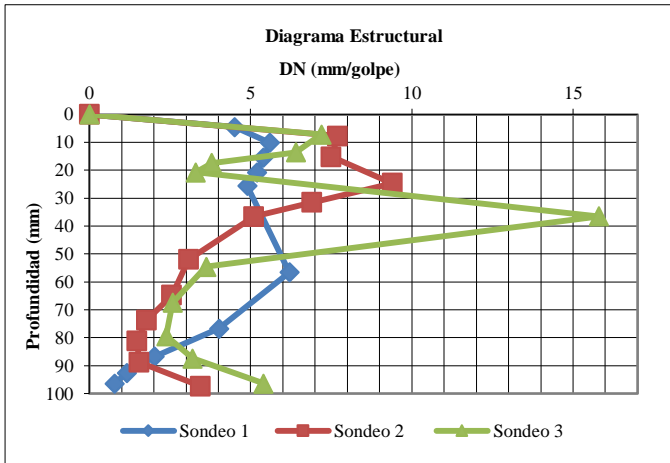


Figura N°3 – Diagrama estructural DCP

VII. INTERPRETACION DE BALANCE ESTRUCTURAL

En el diagrama del balance estructural de la Figura N°4 ilustra una representación que relaciona los porcentajes de DCP (Numero de golpes) donde estos son importantes para penetrar una capa de suelo a una determinada profundidad.

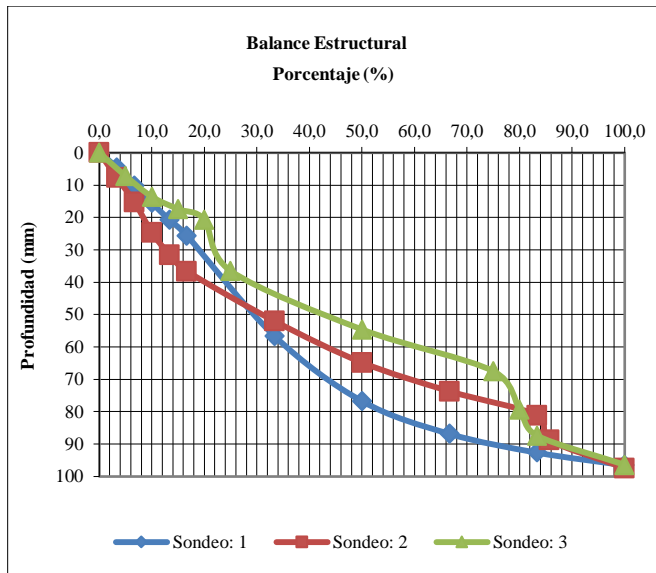


Figura N°4 – Balance Estructural

Correlaciones	Ecuación	Autor/Autores	Observaciones
CBR (%)	$\frac{292}{DCP^{1,12}}$	Van Vuuren (1969)	Apta para todo tipo de suelos (Cohesivos y Granulares)
CBR (%)	$\frac{208}{DCP^{0,86}}$	Transport Road Research TRRL (1986)	Apta para todo tipo de suelos
CBR (%)	$\frac{1}{0,002871 * DCP}$	Webster S.L. et al (1994)	Para suelos CH
CBR (%)	$\frac{1}{(0,017019 * DCP)^2}$	Webster S.L. et al (1994)	Para suelos CL con CBR<10%

VIII. CORRELACIONES EXISTENTES PARA EL DCP

De diferentes investigaciones se pudo obtener varias ecuaciones que con observaciones específicas se pueden utilizar para realizar estudios y pruebas en campo, la más popular es la de (Van Vuuren, 1969) cuya principal característica es que es apta para todo tipo de suelo, sin embargo, no se descartan otras ecuaciones para correlacionar el CBR por medio del DCP, como es el caso de (Kleyn, 1975) y (Livneh & Ishai, 1987).

A raíz de estas investigaciones las instituciones privadas realizaron su propia investigación en base a trabajo de campo y de laboratorio de las cuales se citará el trabajo realizado en Inglaterra por el Transport and Road Research Laboratory (Thrower, Mortazavi, & Dougill, 1986). Más adelante existieron investigaciones propias de ejército de Estados Unidos a cargo de (Webster, Grau, & Williams, 1992).

Así como existen correlaciones para el CBR existieron investigaciones que en base a la obtención de muestra del DCP, también es posible correlacionar el límite líquido realizado por (Gabr, 2001) realizado para suelos con alto contenido de material fino, así como también es posible relacionarlo con el Módulo Resiliente (Chen, 2005) pero éstos últimos no serán objeto de estudio en ésta investigación. La Tabla N°1 ilustra las ecuaciones relevantes en la correlación del CBR obtenidas con el uso del DCP, extraídas de (American Standard Testing Materials, 2003).

Tabla N°1. Relación entre DCP (mm/golpe) y CBR (%)

A continuación, se presentan las tablas con todos los resultados geotécnicos obtenidos de campo con los índices de penetración mediante el dispositivo DCP para encontrar valores de CBR en el sitio aplicando fórmula experimental propuesta por (Van Vuuren, 1969).

En la tabla N°2, ilustra los resultados pertenecientes para el sondeo #1, donde presenta un tipo de suelo homogéneo en función a su profundidad, cada estrato tiene variabilidad en sus resultados, encontrando un material de tipo limo de Alta plasticidad MH, con una capacidad portante del suelo de 3,98%.

En la tabla N°3, se muestra un material perteneciente al sondeo #2, donde presenta un suelo limo de alta plasticidad del grupo MH, considerando un suelo Homogéneo, y finalmente determinando su capacidad portante del suelo en el laboratorio con un CBR de 3,40%.

En la tabla N°4, se muestra un material perteneciente al sondeo #3, donde presenta un suelo limo de alta plasticidad del grupo MH, considerando un suelo Homogéneo, y finalmente determinando su capacidad portante del suelo en el laboratorio con un CBR de 3,20%.

Sondeo N°1	Límites de Atterberg				Clasificación de suelo		Compactación		CBR de Laboratorio
	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Humedad Natural (%)	AASHTO	SUCS	Humedad Óptima (%)	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (kg/m ³)	
Cota 0,50 m	55	35,48	18,37	54,85	A-7-5	MH	21,3	1440,5	3,98
Cota 1,00 m	41	26,90	13,63	17,14	A-7-5	MH			
Cota 1,50 m	52	37,41	14,51	25,36	A-7-5	MH			

Promedio	49,33	33,27	15,50	32,45	A-7-5	MH			
----------	-------	-------	-------	-------	-------	----	--	--	--

Tabla N°2. Resumen de las características físicas – Mecánicas de suelo del sondeo 1.

Tabla N°3. Resumen de las características físicas – Mecánicas de suelo del sondeo 2.

Tabla N°4. Resumen de las características físicas – Mecánicas de suelo del sondeo 3.

Correspondiente a la investigación acerca de las correlaciones propuestas por el autor (Van Vuuren, 1969) obtenida de la aplicación del dispositivo DCP, donde menciona que es apta para todo tipo de suelos, presentadas en la tabla N°1 se obtuvieron valores de CBR para el sondeo N°1 de 4,70%, el sondeo No 2de 3,61% y el sondeo No 3 de 3,37% como se representa en la tabla 5

Sondeo N°2	Límites de Atterberg				Clasificación de suelo		Compactación		CBR de Laboratorio
	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Humedad Natural (%)	AASHTO	SUCS	Humedad Óptima (%)	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (kg/m ³)	CBR al 95%
Cota 0,50 m	46,43	36,55	9,88	26,19	A-7-5	MH	39,3	1309,0	3,40
Cota 1,00 m	41,27	31,02	10,25	19,91	A-7-5	MH			
Cota 1,50 m	47,3	35,52	11,78	24,1	A-7-5	MH			
Promedio	45,00	34,36	10,64	23,4	A-7-5	MH			

Sondeo N°3	Límites de Atterberg				Clasificación de suelo		Compactación		CBR de Laboratorio
	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Humedad Natural (%)	AASHTO	SUCS	Humedad Óptima (%)	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (kg/m ³)	CBR al 95%
Cota 0,50 m	53,03	25,20	27,83	29,85	A-7-5	MH	33	1289,0	3,20
Cota 1,00 m	47,95	28,86	19,10	24,58	A-7-5	MH			
Cota 1,50 m	21,29	22,49	27,91	21,29	A-7-5	MH			
Promedio	40,76	25,52	24,95	25,24	A-7-5	MH			

Sondeos	Densidad Seca máxima (kg/m ³)	CBR al 95%	Cono dinámico de Penetración	
			Índice DCP (mm/golpe)	CBR/DCP (%)
#1	1440,5	3,98	40	4,7
#2	1309,0	3,40	50	3,61
#3	1289,0	3,20	54	3,37

Tabla N°5 Resumen de Resultados para todos los sondeos.

Se ha construido una gráfica entre los valores de Índice de DCP y CBR con los datos de la Tabla N°5 dónde presenta un coeficiente de determinación, R cuadrado presentados en la Figura N°5.

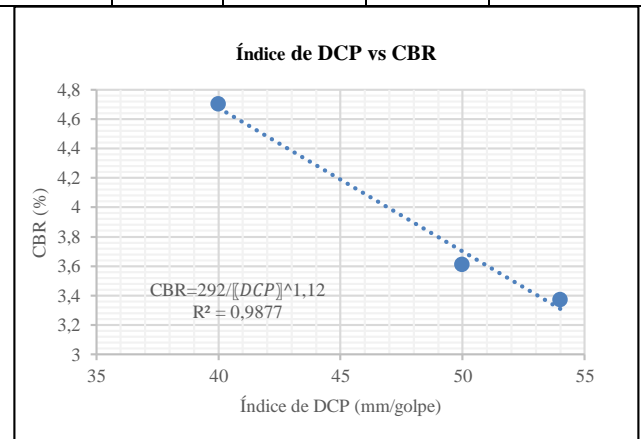


Figura N°5 - Correlación DCP y CBR

IX. CONCLUSIONES

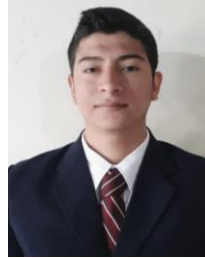
El CBR de laboratorio es un poco más conservador contra el CBR de campo mediante correlaciones del DCP, es por ello, mediante esta investigación no se pretende reemplazar los ensayos de laboratorio con los ensayos de campo, pero se busca facilitar la obtención de resultados mediante correlaciones.

La fórmula empleada por (Van Vuuren, 1969) en esta investigación nos indica que es ideal para el suelo objeto de estudio con una aproximación de confiabilidad al 0,9877, que al ser mayor de 0,90 se considera como adecuado.

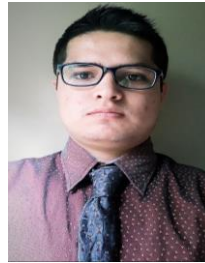
REFERENCIAS

- [1] American Standard Testing Materials. (2003). Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. *ASTMD-6951*, 1-7.
- [2] Anchundia, M., & Jimbo, Y. (2015). *Correlacion entre D.C.P. (Cono de Penetracion Dinamica) y C.B.R. (Valor de Soporte California) aplicado a suelos de la provincia de Manabi*. Manta.
- [3] Angamarca, A. (2013). *Determinacion del CBR de laboratorio y natural en suelos finos y su correlacion con el DCP para la determinacion de la capacidad portante de la sub-rasante, en el diseño de pavimentos flexibles de la ciudad de Quito*. Quito.
- [4] Chen, D. H. (2005). A Correlation Between Dynamic Cone Penetrometer Values and. *Geotechnical Testing Journal*, 42-49.
- [5] Especificaciones generales del MOP. (2002). *MINISTERIO DE OBRAS Y COMUNICACIONES*. Quito.
- [6] Gabr, M. A. (Septiembre de 2001). A Potential Model for Compaction Evaluation of Piedmont Soils. *Geotechnical Testing Journal*, 308-313.
- [7] Kley, E. G. (1975). *The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*. Pretoria, South Africa: Transvaal Roads Department.
- [8] Livneh, M., & Ishai, L. (1987). *Pavement and Material Evaluation by a Dynamic Cone*. Ann Arbor, Michigan.
- [9] Manotoa, S. (2016). Estudio de la correlación entre los ensayos (DCP) penetrómetro dinámico de cono y (CBR) relación de soporte de California en los diferentes tipos de suelos. Ambato, Ecuador.
- [10] Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito, Ecuador.
- [11] Navarro-Martínez, D. & -G. (2004). Correlaciones entre métodos convencionales y alternativos para estimar la resistencia y compactación de suelos. *Repositorio Tecnológico de Costa Rica*.
- [12] Scala, A. J. (1956). Simple Methods of Flexible Pavement Design Using Cone Penetrometers. *PROCEEDINGS OF THE SECOND AUSTRALIAN SOIL MECHANICS CONFERENCE* (págs. 34-44). New Zealand: New Zealand Engineer.
- [13] Thrower, E. N., Mortazavi, S., & Dougill, J. W. (1986). *Methods for Predicting Permanent Deformation in Flexible Pavement*. Berkshire, England: Transport and Road Research Laboratory.
- [14] Van Vuuren, D. J. (1969). Rapid Determination of CBR With the Portable Dynamic Cone Penetrometer. *The Rhodesian Engineer*.
- [15] Viscarra, F. (2006). El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos. *Universidad Privada de Bolivia*, 2.

- [16] Webster, S. L., Grau, R. H., & Williams, T. P. (1992). *Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer*. Vicksburg, Mississippi: US Army Corps of Engineers, USAE Waterways Experiment Station, Geotechnical Laboratory.

**Mejía Vera Christopher Alexander.**

Profesionista Facultad de Ciencia Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Civil.

**Gilces Delgado Jaime Ricardo.**

Profesionista Facultad de Ciencia Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Civil.

**Tutor, Ortiz Hernández Eduardo Humberto.**

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.

**Revisor, García Vincés Jimmy Jeffrey.**

Ingeniero Civil, Magister en Construcción de Obras Viales especialista en vías y obras sanitarias. Profesor de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador materias impartidas son Topografía y Construcción de carreteras.