



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.

FECHA: 19 de Mayo de 2019

ELABORO:

Jhon Fredy Contreras Avila
Arnol Esmith García García

DOCENTE ASESOR :

Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas

CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.

JHON FREDY CONTRERAS AVILA

ARNOL ESMITH GARCÍA GARCÍA


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2019

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.

JHON FREDY CONTRERAS AVILA

C.E. 505270

ARNOL ESMITH GARCÍA GARCÍA

C.E. 505150

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ASESOR DEL PROYECTO:

ING. JUAN CARLOS RUGE CÁRDENAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2019


Nota de Aceptación

Firma presidente de Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, 2019

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
 Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de: 

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas


Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

AGRADECIMIENTOS


A mis padres, Alfonso Contreras y Esperanza Ávila que depositaron su confianza y me brindaron siempre apoyo incondicional en cada decisión o proyecto que decidí emprender, lo cual me motivó a culminar con éxito mi carrera profesional. Gracias por sus consejos, sus esfuerzos y sacrificios por verme realizado, por hacer de mí una persona íntegra, responsable y con valores, ustedes fueron mi motor para poder terminar satisfactoriamente esta tesis.

A mi hermana Leidy Contreras, porque siempre me brindó su apoyo y me dio consejos que me motivaron a seguir adelante con el desarrollo de este trabajo de grado y con la culminación de la carrera.

También al ingeniero Juan Carlos Ruge que estuvo acompañándonos de forma constante en la elaboración de la tesis, gracias por transmitirnos sus conocimientos, aportarnos ideas constructivas y orientarnos en este proceso.

Por último, A todos aquellos que directa o indirectamente colaboraron durante el proceso de nuestro trabajo de grado y en el transcurso de mi carrera.

Jhon Fredy Contreras Ávila

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de grado se lo dedico a mi padre Segundo García porque creyó en mí, me colaboro en todo lo necesario para cumplir con mi sueño, brindándome su amor incondicional y su apoyo económico, un padre y amigo con el cual siempre quiero contar.


A mi madre Fanny López que más que una madre siempre fue una buena amiga, quien siempre supo brindarme sus consejos guiándome por un buen camino para lograr mis metas.

A mis familiares, amigos y compañeros que durante este proceso me brindaron su apoyo y amistad.


Arnol García García.

TABLA DE CONTENIDO

1.	GENERALIDADES.	11
1.1.	INTRODUCCIÓN.	11
1.2.	ANTECEDENTES.	12
1.3.	OBJETIVOS.	14
1.3.1.	Objetivo General.	14
1.3.2.	Objetivos Específicos.	14
1.4.	JUSTIFICACIÓN.	15
1.5.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	15
1.6.1.	Espacio.	16
1.6.2.	Tiempo.	17
1.6.3.	Alcance.	17
1.6.4.	Limitaciones.	18
1.7.	MARCO DE REFERENCIA.	19
1.7.1.	MARCO TEÓRICO.	19
1.7.1.1.	Definición del P.D.C.	19
1.7.1.2.	Descripción física del cono dinámico de penetración P.D.C.	20
1.7.1.3.	Resumen del método.	22
1.7.1.4.	Aplicabilidad y limitaciones.	22
1.7.1.5.	Análisis de datos.	23
1.7.1.6.	Ensayo de relación de soporte de california (C.B.R.)	24
1.7.1.7.	Descripción física del C.B.R.	24
1.7.1.8.	Aplicaciones del CBR:	25
1.7.2.	MARCO CONCEPTUAL.	27
1.8.	ESTADO DEL ARTE.	31
1.8.1	Correlación según su mejor expresión lineal.	35
1.9.	MARCO NORMATIVO.	39
1.10.	METODOLOGÍA.	40
2.	GEOLOGÍA REGIONAL.	42
3.	GEOMORFOLOGÍA.	44
4.	IDENTIFICACIÓN DEL TERRENO.	45

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

5.	EXTRACCIÓN DE MUESTRAS	46
5.1.	CLASIFICACIÓN DEL SUELO.	47
6.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	48
6.1.	Límites de consistencia.	48
6.1.1.	Limite Líquido:.....	48
6.1.2.	Limite Plástico:	49
6.1.3.	Granulometría:.....	51
6.2.	Estratigrafías de los apiques y su muestra según su profundidad.....	54
6.3.	Clasificación de los suelos.	54
6.4.	Resultados del valor de soporte de california (CBR) con muestras inalteradas	55
6.5.	Análisis estadístico de las muestras.....	58
6.5.1.	Apique No. 1.	61
6.5.2.	Apique No.2:	62
6.5.3.	Apique No. 3:	63
6.5.4.	Apique No. 4:	64
6.6.	Comparación de los CBR desarrollados mediante la Norma INVIAS y resultados de Laboratorio.	68
7.	Análisis General.....	71
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
8.1.	Conclusiones:	73
8.2.	Recomendaciones:.....	74
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	75
10.	ANEXOS	79
10.1.	ANEXO 1. INFORME EMITIDO POR LABORATORIO DE SUELOS.	79
10.2.	ANEXO 2. CUADRO DE CÁLCULO PARA PDC Y CBR.	79

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

TABLAS DE ILUSTRACIONES.

<i>Ilustración 1. Ubicación zona de estudio.....</i>	17
Ilustración 2. Esquema del dispositivo P.D.C.	21
<i>Ilustración 3. Esquema cono.</i>	21
Ilustración 4. Grafica Índice de penetración.	23
Ilustración 5 Definición del CBR	25
Ilustración 7. Tendencia Lineal.	36
Ilustración 8. Tendencia Logarítmica.	37
Ilustración 9. Tendencia Polinómica.	38
Ilustración 10. Tendencia Potencial.	38
Ilustración 11. Tendencia Exponencial.....	39
Ilustración 12. Ubicación Apiques.....	40
Ilustración 13. Metodología del proyecto.....	41
Ilustración 14 Curva de fluidez de Apique 1 - M3.....	49
Ilustración 15 Distribución granulométrica por tamizado	52
Ilustración 16 Perfil estratigráfico del suelo	54
Ilustración 17 Grafica de penetraciones carga en estado natural apique 1 muestra 1 (calicata)	57
Ilustración 18 Grafica de penetraciones carga en estado saturado apique 1 muestra 1 (calicata) ..	57
Ilustración 19. Correlación de PDC vs CBR apique 1	61
Ilustración 20. Correlación de PDC vs CBR Apique 2.....	62
Ilustración 21. Correlación de PDC vs CBR Apique 3.....	63
Ilustración 22. Correlación de PDC vs CBR Apique 3.....	64
Ilustración 23. Comparación de CBR Apique N° 1.....	69
Ilustración 24. Comparación de CBR Apique N° 2.....	69
Ilustración 25. Comparación de CBR Apique N° 3.....	70
Ilustración 26. Comparación de CBR Apique N° 4.....	71

LISTADO DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación de los suelos de acuerdo al valor de CBR.	26
Tabla 2. Clasificación de la subrasante de acuerdo al valor de CBR.	26
Tabla 3. Descripción de ensayos I.N.V. E –148 e I.N.V. E –172.	39
Tabla 4. Leyenda de geología regional para el área del proyecto.	43
Tabla 5. Unidades Geomorfológicas para el área del Proyecto.	45
<i>Tabla 6 Datos y Cálculos en apique 1.....</i>	48
Tabla 7 Cuadro de Resultados de limite liquido de los apiques de estudio	49
Tabla 8 Cuadro de Resultados de limite plástico para el apique 1 – M3.....	50
Tabla 9 Cuadro de Resultados de limite plástico de los apiques de estudio	50
Tabla 10 Cuadro de Índice de plasticidad de las apiques de estudio	51
Tabla 11 Cuadro de resumen granulométrico de suelos en las muestras (calicatas) de investigación	53



 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

Tabla 12 Clasificación del tipo de suelo según SUCS en las muestras (calicatas) de estudio	55
Tabla 13 Datos Obtenidos de humedad del Apique 1 Muestras 3 (Calicatas) Estado Natural y Sumergido	56
Tabla 14 Datos Obtenidos de densidad del Apique 1 Muestras 3 (Calicatas) Estado Natural y Sumergido	56
Tabla 15 Resumen de ensayo de CBR en muestras inalteradas en estado natural y saturado	58
Tabla 16. Calculo de PDC y CBR.	59
Tabla 17. Representación del CBR	60
Tabla 18 Correlación de PDC vs CBR Apique 1	61
Tabla 19 Correlación de PDC vs CBR Apique 2	62
Tabla 20 Correlación de PDC vs CBR Apique 3	63
Tabla 21 Correlación de PDC vs CBR Apique 3	64
Tabla 22 Tabla Resumen Correlación CBR Tesis	64
Tabla 23 Correlación entre el número de PDC y CBR	65
Tabla 24 Tabla Resumen CBR por Webster S.L. et al.	66
Tabla 25. Tabla Resumen CBR por Cuerpo de Ingenieros (USA)	66
Tabla 26. Tabla Resumen CBR por Kleyn & Van Heerden.	66
Tabla 27. Tabla Resumen CBR por MOPT Colombia (1992)	67
Tabla 28 Clasificación de los suelos en función de la Subrasante	67
Tabla 29. Resumen de CBR	68

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

1. GENERALIDADES.

1.1. INTRODUCCIÓN.

La falta de un estudio previo de suelos es muy perjudicial en cualquier obra de ingeniería, ya que es necesario e imprescindible la realización de un estudio de suelos, puesto que, esto permite conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo¹.

El ingeniero civil ha de enfrentarse con diversos problemas planteados por el terreno. Prácticamente todas las estructuras de ingeniería civil como puentes, edificios, túneles, carreteras, muros, canales o presas, deben cimentarse sobre la superficie de la tierra o dentro de ella. Para que una estructura se comporte satisfactoriamente debe poseer una cimentación adecuada, en donde se pueda transmitir las cargas de una forma viable y que la estructura se mantenga estable.²


Con respecto a las comparaciones realizadas entre los resultados obtenidos por parte de los ensayos de campo y los resultados arrojados por el laboratorio entre C.B.R y P.D.C, se ha concluido que muchas veces existen grandes variables entre un ensayo y otro, puesto que en Colombia las normas vigentes para los ensayos de suelos están regidas por normas Internacionales.

Por esta razón, este proyecto presenta la correlación entre P.D.C y C.B.R, obtenida mediante la realización, recolección de datos y ensayos in-situ para P.D.C y los resultados obtenidos del laboratorio C.B.R y poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, en la localidad de Engativá. De tal manera, que estos resultados se puedan comparar con la norma INVÍAS.

Las características mecánicas del suelo se obtendrán a partir del valor relativo de soporte correlacionado con el índice de penetración del cono dinámico PDC.

¹ «Mecánica de suelos -Lambe y Whitman.pdf». (Whitman, 2004)

² (Duque G. Escobar E., 2002) <<https://es.scribd.com/document/58118584/Mecanica-de-Suelos>>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--


El ensayo de valor relativo de soporte CBR es una medida de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas en forma cuidadosa. Este valor de resistencia frente al régimen de cargas de repetición impuestas por el tránsito de uso.

La mayor falla de los pavimentos flexibles, se deben principalmente al desplazamiento, es decir la falla "al corte", de los materiales que componen las diferentes capas, es por esto que se diseña basándose en los ensayos al corte. Se establece en este método una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo, y su valor relativo como base de sustentación de pavimentos flexibles.

1.2. ANTECEDENTES.

Los estudios de suelos son de gran importancia para la construcción de cualquier obra de ingeniería civil, las investigaciones realizadas por la División de Ingeniería de Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transporte de Colombia incluyó ensayos in situ con un resultando de limitaciones en su empleo a suelos arenosos y finos o a capas débilmente cementadas. Las correlaciones entre los valores del ensayo de PDC y los valores de CBR se realizaron bajo un mismo modelo matemático. Esta investigación se ha realizado con suelos existentes en las carreteras de Colombia, siguiendo los modelos matemáticos existentes y proporcionando relaciones aplicables a otros países para determinar valores de CBR en base a los ensayos de PDC in situ. Independientemente del lugar o la magnitud de la estructura con este estudio se pueden determinar muchos factores tales como sus propiedades físicas y mecánicas del suelo, su clasificación, y entre otras.

Los ensayos geotécnicos proporcionan información necesaria acerca del suelo a estudio. Estos ensayos se pueden realizar en un laboratorio, el cual arroja información acerca de las características y demás cualidades de la muestra que

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

se tomó en campo (in-situ) y poder analizarlas en el laboratorio. También se puede explorar las características geotécnicas mediante ensayos realizados en el terreno a estudiar, suministrando información de gran importancia, así también como ahorrar tiempo y dinero en la construcción de cualquier estructura.


Antiguamente en el estudio del suelo no se tenía en cuenta uno de sus aspectos importantes. Un ejemplo claro de esto es la Torre de Pisa, la cual, debido a sus débiles cimientos, construida sobre un suelo inestable, presentó problemas de asentamientos, falla que se refleja claramente en su inclinación, cada vez más marcada a medida que se le fueron añadiendo nuevas plantas.³

El Penetrómetro Dinámico de Cono (P.D.C) fue desarrollado por Van Vuuren (1969) y fue empleado durante una extensiva investigación del comportamiento de los pavimentos a cargo del Departamento de Caminos del “Transvaal Provincial Administration” de Sudáfrica durante 1973, en un esfuerzo por estimaren forma simple la resistencia in-situ de los materiales de subrasante y capas que conforman el pavimento.⁴

El PDC es utilizado para evaluar la resistencia de suelos, tanto no disturbados como compactados y estimar un valor de CBR en campo, el PDC presenta ventajas como su simplicidad y economía de uso. Implícitamente, el PDC estima la capacidad estructural de las diferentes capas que conforman a un suelo, detecta simultáneamente el grado de heterogeneidad que puede encontrarse en una sección y la uniformidad de compactación del material, de una manera rápida, continua y bastante precisa.

³ (J.B Burlan y C. Viggiani, 2000). GEOTECH-year 2000, Developments in Geotechnical Engineering. [En línea] 2000. J.B. Burland y C. Viggiani, «Underexcavating the Tower of Pisa: Back to the future», GEOTECH-YEAR 2000, Developments in Geotechnical Engineering, 2000 <<http://materias.fi.uba.ar/6408/Burland - Underexcavating the tower of Pisa.pdf>>. [citado 20 Enero, 2019]

⁴ (JF Osorio, C Gerencia, y A Nicely, 2013) <<http://unimilitar-space.metabiblioteca.org/handle/10654/3653>>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

El C.B.R. es un método geotécnico, el cual fue propuesto en 1929 por los ingenieros T.E. Stanton y O.J. Porter del departamento de carreteras de California. Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método de ensayo C.B.R. se ha generalizado y es una forma tanto de clasificar un suelo para ser utilizado como sub-rasante o material de base en la construcción de carreteras. Durante la segunda guerra mundial, el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos⁵.

1.3. OBJETIVOS


1.3.1. Objetivo General

Determinar la correlación del penetrómetro dinámico de cono (P.D.C.) con Ensayo de Relación de Soporte de California (C.B.R.) para la subrasante, en la localidad de Engativá para la ciudad de Bogotá D.C, utilizando la norma del instituto nacional de vías.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Comparar dicha correlación con las normas del instituto nacional de vías I.N.V.E-148 y I.N.V.E-172, las cuales son utilizadas para el estudio de la capacidad de los suelos en la ciudad de Bogotá D.C.
- Presentar la correlación del penetrómetro dinámico de cono (P.D.C) y Ensayo de Relación de Soporte de California (C.B.R.) obtenida mediante la recopilación de datos de campo de ensayos in-situ de P.D.C. y resultados de C.B.R. de laboratorio, realizados en la localidad de Engativá.

⁵ JF Osorio, C Gerencia, y A Nicely. 2013. Correlacion PDC Con CBR para suelos en la localidad de suba. [En línea] 2013. <<http://unimilitar-dspace.metabiblioteca.org/handle/10654/3653>>. pág. 16

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

- Analizar los ensayos de campo (PDC) respecto a los ensayos de laboratorio (CBR) y así obtener sus propiedades necesarias para la identificación y clasificación de los diferentes tipos de suelos.

1.4. JUSTIFICACIÓN.


Con la realización del siguiente proyecto, se pretende lograr la correlación del penetrómetro dinámico de cono (P.D.C.) con Ensayo de Relación de Soporte de California (C.B.R.) y poder evaluar la calidad del terreno para sub-rasante, en la localidad de Engativá, obtenida a través de diferentes ensayos de campo y en laboratorio, ya que muchas veces en nuestro país no se aplican a la geomorfología, afectando su porcentaje de confiabilidad.

Con base a lo anterior, el presente trabajo de grado pretende realizar la correlación de estos dos ensayos, definidos en el Instituto Nacional de Vías – INVÍAS, establecidos en esta norma y nombrados como normas I.N.V.E-148 (CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada) y I.N.V.E-172 (Uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad)⁶ y según los resultados obtenidos se podrá comparar con dicha norma.

1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los estudios geológicos-geotécnicos tienen su esencia en las investigaciones in situ; de ellas se obtienen los parámetros y propiedades que definen el comportamiento del material que constituye el soporte de cualquier estructura de ingeniería y representan, además, un punto crítico para la estimación del coste de un proyecto constructivo.

⁶ INVÍAS, «Normas de ensayo para materiales de carreteras. Sección 100», 2013, 798 < (INVÍAS, 2013).

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

Por esta razón, las normas que rigen el estudio de suelos de otros países son totalmente distintas, en donde su normatividad es clave y de acuerdo a ésta se basó la normatividad que en Colombia regula la práctica de ensayos de suelo en campo (in situ) y ensayos de suelo en laboratorio. Esto hace válido la pregunta, si dichas normas son adecuadas para las características geomorfológicas de nuestro país, que es tan diverso en todos sus aspectos, especialmente en su suelo.

¿Qué tan veraces son las correlaciones para poder evaluar la calidad del terreno de sub-rasante, aplicados en los suelos de Bogotá, específicamente en la localidad de Engativá (Engativá Pueblo), empleando una correlación entre el ensayo C.B.R. y P.D.C, en relación a la norma INVÍAS?

1.6. DELIMITACIÓN.

1.6.1. Espacio.

Para el presente proyecto se realizarán ensayos tanto en laboratorio como in-situ, tomando muestras de la localidad de Engativá, por lo cual esta zona a estudio está delimitada por la carrera ciento veintisiete (127) y la carrera ciento veintiséis (126) con calle sesenta (65A) ver *Ilustración 1. Ubicación zona de estudio*, que pertenece al barrio San Lorenzo de la localidad 10 (Engativá) del distrito capital de Bogotá.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

Ilustración 1. Ubicación zona de estudio




Fuente: Google Earth. Zona Occidental de Bogotá [en línea]. Bogotá: Google Earth [citado 24 Enero 2019]. Disponible en internet: <URL: <https://earth.google.com/web/@4.71765518,-74.14256257,2546.40254745a,291.06322659d,35y,0.0000001h,41.63986344t,-0r>>

1.6.2. Tiempo.

El periodo definido para la realización del presente estudio, corresponderá al tiempo académico de los estudiantes encargados de llevarla a cabo, es decir los cuatro meses del primer semestre de 2019.

1.6.3. Alcance.

Se considera que el presente estudio está orientado a plantear una correlación del C.B.R a través de ensayos de P.D.C. para suelos encontrados en la localidad de Engativá, obtenida con diferentes ensayos de campo y en laboratorio, validando las normas del Instituto Nacional de vías I.N.V.E-148 y I.N.V.E-172, puesto que, esta norma (INVÍAS) ha sido diseñada en base a normas de otros países, en las cuales sus condiciones geológicas son bastante diferentes a las de Colombia.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--


Dado que hallar la correlación del penetrómetro dinámico de cono (P.D.C.) con Ensayo de Relación de Soporte de California C.B.R. para cada sector del país es un tema muy extenso y se requiere de un presupuesto muy alto, limitando el alcance de este trabajo para determinar dicha correlación en un sector específico de la ciudad, de tal forma que fuera posible conseguir la información de datos de campo y resultados de laboratorios requerida para tal fin.

Por otra parte, se verificara el grado de confiabilidad de los ensayos in-situ con respecto a los ensayos de laboratorio.

1.6.4. Limitaciones.

Este estudio tiene claramente definidos los objetivos que la orientarán, y en esa medida, unas de las más grandes limitaciones para este proyecto son:

- La limitación principal de esta investigación se debe a la falta de recursos para realizar estudios a más profundidad y así determinar que tanto puede afectar el ensayo. Esta limitación podría superarse con nuevos equipos que han sido diseñados en el campo de la geotecnia, pero su costo es muy alto y esto limita el proyecto.
- La correlación entre los ensayos de laboratorio y los ensayos de campo (in-situ), es un tema que en Colombia no se profundizado lo suficientemente, teniendo muy pocos artículos sobre el tema. Por lo tanto, esto simboliza una limitación en la cantidad de información disponible sobre este tema.
- Una de las limitaciones de esta investigación, hace referencia a que sería favorable realizar más ensayos para caracterizar sectores con la misma génesis o tipos de suelo similar en todas las zonas de Bogotá, de este modo se aumentaría el margen de comparación con otros estudios.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

- En suelos arenosos el resultado del P.D.C., está influenciado principalmente por la densidad relativa del suelo y por el nivel de confinamiento efectivo reinante a la profundidad del ensayo, similar a lo expresado para el ensayo de penetración estándar.

1.7. MARCO DE REFERENCIA.

1.7.1. MARCO TEÓRICO.

Existen una serie de parámetros referentes al terreno que son indispensables al momento de realizar cualquier construcción u obra de ingeniería civil. Muchos de estos parámetros se obtienen a partir de ensayos realizados en el laboratorio o en campo.


Actualmente hay diferentes métodos o procedimientos para medir la resistencia de los suelos de la subrasante en un pavimento, dentro de los cuales se puede encontrar los siguientes:

- a) Módulo resiliente
- b) Relación del valor de soporte de California (CBR).
- c) Valor de resistencia Hveem (Valor R).
- d) Ensayo de placa de carga (Valor K).
- e) Penetración dinámica con cono (PDC).

De los ensayos anteriormente mencionados el CBR es el más comúnmente utilizado para determinar la capacidad de soporte de la subrasante. El valor de CBR se utiliza para estimar el Módulo Resiliente del suelo, éste parámetro, junto con las características del nivel de tránsito, propiedades de los materiales de las capas, entre otras, determinan los espesores de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento.

1.7.1.1. Definición del P.D.C.

El instrumento P.D.C., es aquel elemento que mide la penetración por golpe a través de las distintas capas componentes de un pavimento. Esta penetración es

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

función de la resistencia al corte “in situ” de los materiales del paquete estructural. La penetración medida es una función de la resistencia al corte “in situ” de los materiales y el perfil en profundidad, da una indicación de las propiedades de los materiales de todas las capas de la estructura hasta una profundidad de auscultación determinada.⁷

Alguno de los usos en que puede destacar el ensayo son:

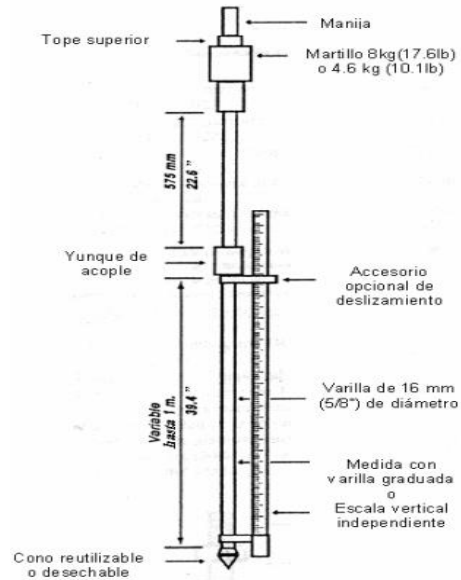
- Acción de reconocimiento rápido del terreno.
- Verificación de la eficiencia de los equipos de compactación utilizados en obra.
- Detección e identificación de anomalías en alguna o algunas de las capas una vez construidas.
- Determinar el C.B.R. alterado e inalterado de la Sub-rasante.

1.7.1.2. Descripción física del cono dinámico de penetración P.D.C.

- El cono dinámico de penetración P.D.C. lo conforman dos varillas con un diámetro de 0.63 pulgadas (16mm), en donde la varilla superior contiene un martillo de 8 kg, que se deja caer desde una distancia de 22.6 pulgadas (575mm) en la conexión entre la varilla superior la inferior (yunque). La varilla inferior de 31.5 pulgadas (800mm), posee una punta cónica de 60° de inclinación; el yunque que se conecta con las dos varillas, sostiene un marcador o una regla graduada.

⁷ D E Sistemas, «Universidad andina nestor caceres velasquez», 2015. [citado 26 Enero, 2019].

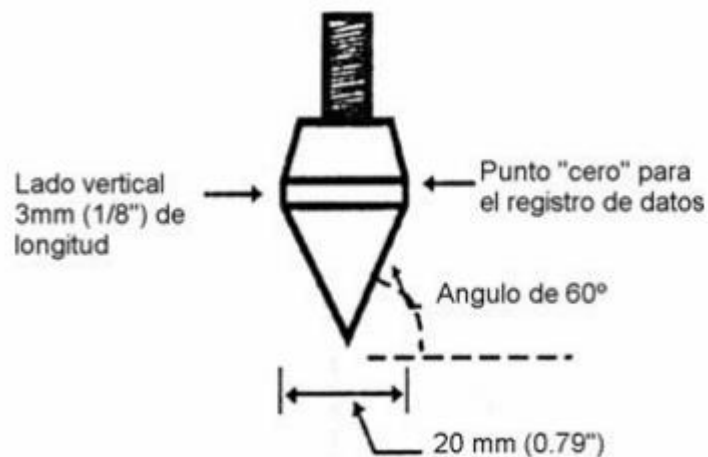
Ilustración 2. Esquema del dispositivo P.D.C.




Fuente: I.N.V.E-172

El aparato debe ser de acero inoxidable con excepción del cono, el cual puede ser de acero endurecido u otro material similar, resistente al desgaste.

Ilustración 3. Esquema cono.



Fuente: I.N.V.E-172

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

1.7.1.3. Resumen del método.

El operador dirige la punta del PDC dentro del suelo, levantando el martillo deslizante hasta la manija y soltándolo para que caiga libremente hasta golpear el yunque. La penetración total para un determinado número de golpes es medida y registrada en términos de milímetros por 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.⁸

1.7.1.4. Aplicabilidad y limitaciones.

Este ensayo es apropiado para establecer condiciones de compacidad de estratos arenosos sueltos densos y condiciones de consistencia de estratos arcillosos de consistencia media firme. Debido a su carácter dinámico no es muy adecuado o confiable para los suelos arcillosos sensitivos de consistencia media a baja. En suelos arenosos el resultado del P.D.C., está influenciado principalmente por la densidad relativa del suelo y por el nivel de confinamiento efectivo reinante a la profundidad del ensayo, similar a lo expresado para el ensayo de penetración estándar. Para arenas muy finas y limos arenosos saturados con densidades relativas superiores a la crítica el resultado del P.D.C., puede ser anormalmente alto debido a las presiones de poros negativas generadas por la dilatación, con el consecuente aumento instantáneo de los esfuerzos efectivos y de la resistencia. Muy adecuado para complementar exploraciones de suelo, combinándolo con perforaciones, muestreos, sondeos y otros ensayos de campo reduciendo costos y tiempo, y cubriendo grandes áreas con suficiente información⁹.

⁸ INVIAS.I.N.V.E-172, INSTITUTO NACIONAL DE VIAS . 2013. CBR de suelos compactos en el laboratorio y sobre muestra inalterada. 2013 [citado 26 Enero, 2019].

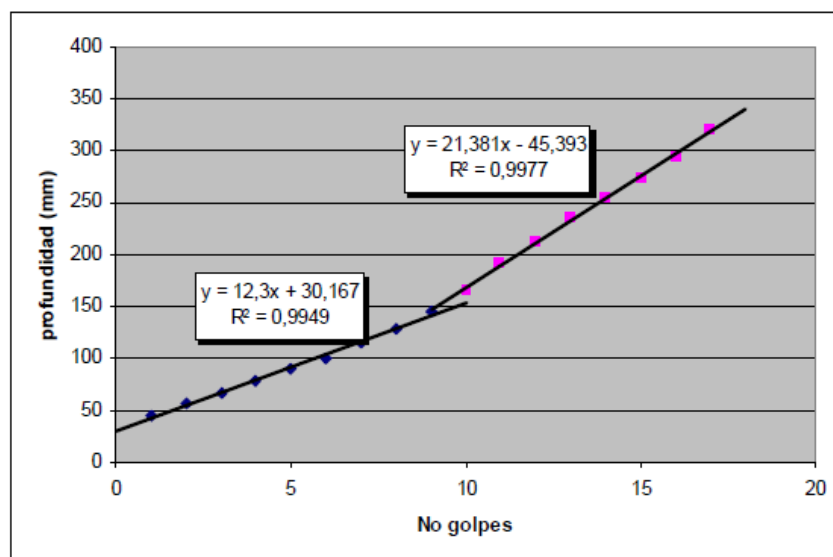
⁹ (JF Osorio, C Gerencia, y A Nicely, 2013) Correlacion PDC Con CBR para suelos en la localidad de suba. [En línea] 2013. <<http://unimilitar-dspace.metabiblioteca.org/handle/10654/3653>>.

1.7.1.5. Análisis de datos.


Los resultados de la prueba PDC se expresan en términos de índices de penetración de cono dinámico, definido como el desplazamiento vertical descendente del PDC producido por la fuerza que ejerce la caída del martillo deslizante (mm/golpe).

Los resultados del ensayo realizado son recolectados in situ como se muestra en la *Ilustración 4. Grafica Índice de penetración*. Estos datos (número de golpes y profundidad de penetración) se obtienen al momento de realizar el ensayo in situ. De esta manera, se realiza una gráfica con estos dos datos, en donde el número de golpes (en el Eje X) y Penetración en milímetros (mm) (en el Eje Y). La grafica muestra claramente un perfil de las diferentes capas resistentes. El índice de penetración de ese suelo se calcula a partir de las pendientes que generan los puntos ya que la pendiente corresponde al índice de penetración (PI) en mm/golpe.

Ilustración 4. Grafica Índice de penetración.



Fuente: BLOG DE CONCEPTOS Y APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA RAMCODES EN SUELOS Y MEZCLAS ASFALTICAS. Obtenido de RAMCODES: <http://blogramcodes.blogspot.pe/2012/08/que-es-elcbr.html>

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

1.7.1.6. Ensayo de relación de soporte de california (C.B.R.)

Sus siglas C.B.R. significan (California Bearing Ratio: Relación de Soporte de California) lo cual, este mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un porcentaje (%) de la relación de soporte. Es la relación entre la resistencia a la penetración y la capacidad portante del suelo, depende de su peso y su carga y sirve para medir la resistencia del suelo. Este ensayo permite obtener un número de relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante ensayo.

1.7.1.7. Descripción física del C.B.R.

El C.B.R. de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración, expresada en porcentaje en su respectivo valor estándar. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.¹⁰

Usualmente el número C.B.R., se basa en la relación de carga para una penetración de 2,5 mm. (0,10"), sin embargo, si el valor de C.B.R. a una penetración de 5 mm. (0,20") es mayor, el ensayo debe repetirse. Si en un segundo ensayo se produce nuevamente un valor de C.B.R. mayor de 5 mm de penetración, dicho valor será aceptado como valor del ensayo. Los ensayos de C.B.R. se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo.

¹⁰ (Chang, 2014) C.B.R. (California Bearing Ratio). [En línea] 17 de Diciembre de 2014.
<https://es.slideshare.net/chininx100pre/cbrensayos>.


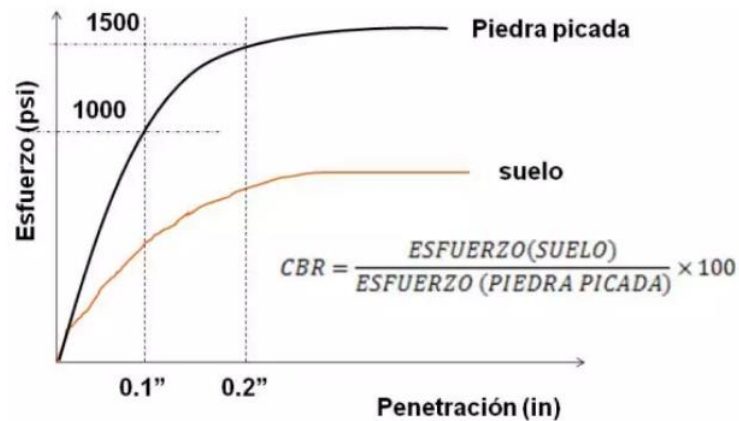
 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

Ilustración 5 Definición del CBR



Fuente: BLOG DE CONCEPTOS Y APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA RAMCODES EN SUELOS Y MEZCLAS ASFALTICAS. Obtenido de RAMCODES: <http://blogramcodes.blogspot.pe/2012/08/que-es-elcbr.html>

El método C.B.R. comprende los 3 ensayos siguientes:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

1.7.1.8. Aplicaciones del CBR:

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub-bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

El CBR establece una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas.

La siguiente tabla da una clasificación típica:


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

Tabla 1. Clasificación de los suelos de acuerdo al valor de CBR.

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5,A6,A7
3 - 7	pobre a regular	Subrasante	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	Base, Subbase	GM,GC,W,SM SP,GP	A1b,A2-5,A3 A2-6
> 50	excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4,A3

Fuente: Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil. Bowles J.(1980)


Para el diseño de las capas de pavimentos existen métodos en los cuales se leen tablas utilizando directamente el número CBR y se lee el espesor de la subrasante. Con el resultado del CBR se puede clasificar la subrasante, base o subbase:

Tabla 2. Clasificación de la subrasante de acuerdo al valor de CBR.

CBR	CLASIFICACION
0 - 5	Subrasante muy mala
5 - 10	Subrasante mala
10 - 20	Subrasante regular a buena
20 - 30	Subrasante muy buena
30 - 50	Subbase buena
50 - 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

Fuente: Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil. Bowles J.(1980)

El ensayo de CBR puede efectuarse tanto en el terreno, ensayando el suelo con su humedad natural o sometándolo a saturación previa, como en el laboratorio sobre muestras inalteradas o compactadas allí. Las muestras inalteradas deberán ensayarse con su contenido natural de humedad, mientras que las compactadas en

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

el laboratorio pueden probarse luego de inmersión o no, de acuerdo a las condiciones esperadas en el terreno.

1.7.2. MARCO CONCEPTUAL.


- **Las muestras alteradas:** de suelos podrán obtenerse de una excavación, de un frente, ya sea de corte o de banco o bien, de perforaciones llevadas a profundidad con herramientas especiales. Las muestras deberán ser representativas de cada capa que se atraviese, hasta llegar a una profundidad que puede corresponder al nivel más bajo de explotación, al nivel de aguas freáticas o aquél al cual sea necesario extender el estudio.
- **Muestras inalteradas:** que son aquellas en las que se conserva la estructura y la humedad que tiene el suelo en el lugar donde se obtenga la muestra. Las muestras inalteradas se obtendrán de suelos finos que puedan labrarse sin que se disgreguen. La obtención puede efectuarse en el piso o en las paredes de una excavación, en la superficie del terreno natural o en la de una terracería. La extracción para obtener la muestra deberá de ser de dimensiones tales que permitan las operaciones de labrado y extracción de la misma.¹¹

Las dimensiones, forma y demás características de las muestras inalteradas, dependen del tipo de ensayo al cual van a estar sometidas. Básicamente hay tres procedimientos generales para tomar este tipo de muestras: Muestras en bloque o muestra-trozo, tomadas de la superficie del terreno, del fondo de un pozo o del piso de una galería. . Muestras en bloque, tomadas de una pared vertical de un pozo o galería. . Muestras cilíndricas.

Procedimiento:

Muestras en bloque de la superficie del terreno, fondo de un pozo o piso de una galería. . Se descubre la capa de la que se pretende tomar la muestra,

¹¹ (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS E - 148, 2013) E – 148.CBR de suelos compactos en el laboratorio y sobre muestra inalterada. 2013, págs. 403-423.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

bajando la excavación a la profundidad precisa para que el terreno descubierto esté completamente fresco y no haya pérdida de humedad. Se alisa la superficie marcando el contorno de que ha de ser la cara superior de la muestra.


Se excava una pequeña zanja alrededor de la marca, dejando entre el borde de la muestra y el borde interior de la zanja unos 10 cms con el propósito de que esta operación de excavación, no afecte la muestra. La zanja deberá ser suficientemente ancha para permitir las operaciones de tallado, parafinado "in situ" y corte.

Con las herramientas apropiadas, se le da forma cúbica y el tamaño final que ha de tener, cuidando la muestra, a medida que el tallado se acerca a la cara superior y las cuatro caras laterales. . Una vez que la zanja esté suficientemente honda y las caras perfiladas, se extrae la muestra, cortándola con un cuchillo, paleta, u hoja de sierra, y se retira cuidadosamente. . Si la muestra tiene suficiente consistencia, se talla la cara inferior antes de proceder a parafinarla aplicando con una brocha, una primera capa de parafina y a continuación se cubre con venda. Se repite el proceso hasta obtener un recubrimiento impermeable de 3 mm de espesor como mínimo.

Si la muestra no tiene suficiente consistencia, antes de retirarla de la excavación, una vez tallada la cara superior y las cuatro caras, laterales, deben parafinarse, en la forma indicada en el párrafo anterior. Se confina con la caja de empaque prevista y luego se corta retirándola de la excavación, parafinando la última cara una vez perfilada.¹²

Cuando por circunstancias de clima o acción directa del sol, se puede presentar pérdida apreciable de humedad, se deberá parafinar cada cara en forma inmediata a su talla, terminando estas labores de parafinado, cuando se desprenda la muestra por su cara inferior. . Antes de cerrar el empaque se debe colocar a la muestra una etiqueta con la siguiente información: Procedencia, situación (se marcan las caras superior e inferior), profundidad

¹² (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS E - 112, 2013) E - 112 - 1 TOMA DE MUESTRAS SUPERFICIALES DE SUELO INALTERADO. 2013.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

y ubicación dentro de la obra; se cierra la caja y se coloca exteriormente otra etiqueta con los mismos datos, indicando adicionalmente advertencias de las precauciones requeridas.


Muestras en bloque de la pared del pozo o galería. Se rebaja la pared escogida, hasta que el terreno descubierto se encuentre cerca del suelo que conformará la muestra, previendo que este último conserve sus condiciones originales de humedad y estructura. Se alisa la superficie y se marca el contorno. . Se excava alrededor y por detrás, dando forma al trozo, afinándolo hasta donde sea posible. . Se corta el trozo y se retira del hoyo, procediendo a su parafinado y empaque como se describió anteriormente.

Muestras cilíndricas. Estas muestras se pueden tomar directamente usando un anillo toma muestras de filo cortante que se ajusta al molde que tenga las dimensiones requeridas, o también con un pote de hojalata común, con un trozo de tubo o con cualquier otro recipiente metálico que tenga dimensiones adecuadas.

La secuencia es la siguiente: Se alisa la superficie del terreno y se aprieta el molde con el anillo contra el suelo, aplicando una presión moderada. . Se excava la zanja alrededor del cilindro; manteniendo la presión hacia abajo. Se corta el suelo del lado exterior del anillo con el cuchillo, haciendo el corte hacia abajo y hacia afuera, para evitar afectar la muestra y para que el suelo continúe penetrando dentro del cilindro.

Se excava la zanja más profunda y se repite el proceso hasta que el suelo penetre bien dentro del cilindro. . Se corta la muestra por la parte baja del cilindro con una pala, cuchillo o sierra y se retira del hoyo.

Tanto la superficie superior como la inferior deben recortarse a ras. Se protegen los extremos con discos de madera y se rebordean y atan con cinta aislante u otro material adecuado. . Cuando se utilice como molde un pote de hojalata, el fondo se agujerea antes de hincarlo y luego de llenarlo con


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

muestra, se sellan los agujeros con parafina, así como la superficie superior, cuando se haya cortado la muestra.¹³

- **Penetrómetro:** elemento para ensayos de penetración, el cual se emplea para la determinación de las características geotécnicas del suelo. Consisten en la introducción en el terreno de un elemento de penetración, generalmente de forma cónica, unido solidariamente a un varillaje. La hincada se realiza por golpeo de una maza con un peso definido, sobre una sufridera o cabezal colocado en la parte superior del varillaje.
- **Resistencia a la penetración estándar:** Número de golpes de un martillo de 63,5 kg, que se deja caer de una altura de 0,76 m, requeridos para hacer penetrar 0,3 m en el suelo un muestreador de tipo tubo partido. Este método describe el procedimiento generalmente conocido como Ensayo de Penetración Normal (Standard Penetration Test - SPT), para penetrar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del muestreador. Descrita en I.N.V. E – 111 – 07.¹⁴
- **Suelo lacustre:** Es la acumulación de material depositado por un lago; por extensión se llama así también a cualquier acumulación de material depositado en un cuerpo extenso de agua dulce en el que la velocidad de circulación del agua sea nula o cercana a cero. Normalmente los depósitos lacustres están formados predominantemente por arcillas y en menor proporción por limos.
- **Sub rasante:** Es la superficie del terreno sobre la cual se apoyará la estructura de un pavimento. Pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.
- **Subsuelo:** Es la capa de suelo debajo de la capa superficial de la tierra, el cual puede incluir sustancias como arcilla y/o arena, que solo han sido desglosadas por aire, solar, agua, viento entre otros para producir suelo verdadero.

¹³ (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS E - 112, 2013) *E - 112 - 1 TOMA DE MUESTRAS SUPERFICIALES DE SUELO INALTERADO*. 2013.

¹⁴ (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, E- 111, 2013) *Uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad*. 2013.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--


- **Suelos cohesivos:** Suelo compuesto de partículas muy pequeñas, en que predominan los efectos electroquímicos superficiales. Las partículas tienden a juntarse (iteración agua-partícula). Suelos plásticos. (Arcillas). Y para los suelos no cohesivos sus partículas, relativamente grandes, no tienden a juntarse ni a adherirse. Se les llama también suelos granulares o friccionantes como Gravas, arenas, limos.

1.8. ESTADO DEL ARTE.

El CBR es un método utilizado para evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, sub-base y base de pavimentos. Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros Stanton y Porter del Departamento de Carreteras de California, de ahí su nombre California Bearing Ratio que en español significa Relación de Soporte California. En algunos países también se le conoce como Valor Relativo Soporte (VRS). Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método CBR se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como sub-rasante o material de base en la construcción de carreteras. Durante la Segunda Guerra Mundial, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos. El CBR fue concebido en 1933 para diseñar pavimentos flexibles basados en la resistencia al corte. En 1964, aparece la versión para laboratorio en la norma ASTM D 1883¹⁵

El registro más antiguo de un dispositivo de prueba para la penetración del sub-suelo similar al DCP es el "ram penetrometer" Propuesto en Alemania a finales del siglo XVII por Nicholaus Goldmann. Un nuevo y mayor desarrollo se originó en Alemania, cuando Künzel en 1936 descubrió lo que se conoce como un

¹⁵ (Sánchez-Leal) Blog de Conceptos y aplicaciones de la tecnología Ramcones en suelos y mezclas asfálticas. [En línea] <http://blogramcodes.blogspot.com/2012/04/tres-formas-de-disenar-un-suelo.html>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

"Prüfstab". Este dispositivo fue utilizado después por Paproth en 1943, y eventualmente se estandarizó en 1964 como "Light Penetrometer", Norma Alemana DIN 4094.¹⁶

A partir de su desarrollo, antes de la Segunda Guerra Mundial, el índice CBR ha sido adoptado por un gran número de instituciones dedicadas al transporte a nivel mundial, especialmente en los Estados Unidos y, por cuestiones geopolíticas, también en los países de Latinoamérica. Más tarde, en la década de 1950, el desarrollo de los equipos de penetración dinámica para evaluar la resistencia del suelo, DCP, da pie al planteamiento de obtener información de un ensayo a partir del otro.


El CBR constituye una regla casi universal a la hora de diseñar la estructura de un pavimento; su procedimiento está establecido y rigurosamente documentado. Por lo tanto, una correcta utilización de su normativa puede ofrecer resultados adecuados; también es recalable que se encuentra al alcance de un Laboratorio de Suelos normalmente equipado.

El ensayo DCP presenta ventajas fundamentales en el campo de investigación del subsuelo: entre las más destacadas se puede contar la facilidad de fabricación del equipo, la relativa simpleza en la realización del ensayo y el bajo costo de inversión. De hecho, el factor más determinante para explicar su popularidad es que puede ofrecer estimaciones eficaces del índice CBR en un periodo de alrededor de 15 minutos¹⁷.

Si bien es cierto que para poder plantear técnicamente una correlación entre los dos parámetros es necesaria una amplia base de datos, ésta ya ha sido obtenida a

¹⁶ (Kleyn, May, 1982) "The Application of a Portable Pavement Dynamic Cone Penetrometer to Determine In Situ Bearing Properties of Road Pavement Layers and Subgrades in South Africa". Amsterdam : Proc. Of the Second European Symposium on Penetration Testing, May, 1982. [citado 15 Enero, 2019]

¹⁷ (Jahren, y otros, 1999) *Journal of Construction Engineering*. 1999. págs. 325-329.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

día de hoy por las diversas investigaciones realizadas a nivel mundial. Entonces, el planteamiento de una correlación entre los índices analizados representa, cuando no, un método de optimización a considerar en las etapas previas a la construcción de obras viales.

Para la utilización de correlaciones, hay que tener especial cuidado en las condiciones en las que ha sido desarrollado el respectivo experimento; sobre todo en el tipo del suelo donde han sido determinados cada uno de los parámetros. Es decir, una correlación no tiene una aplicación universal, sino está sujeta a las condiciones del suelo sobre el que se realice los ensayos. ¹⁸


De la revisión de bibliografía se pudo determinar que el Cono S-200 desarrollado por el Profesor Sowers no ha tenido una amplia reproducción a nivel mundial; por tanto, cuando se establezca la correlación entre su índice de penetración y el CBR, se tendrá en mente que representará algo relativamente nuevo en el medio local.

Por otro lado, el cono más utilizado, de Scala, ha sido evaluado en diferentes partes del planeta. Estudios y pruebas realizados en campo por investigadores geotécnicos, por ejemplo (van Vuuren, 1969), (Kleyn, 1975) y (Livneh & Ishai, 1987)¹⁹, han sido esenciales para la evaluación de las estructuras del pavimento, siendo de especial importancia el primero, pues representa un primer intento por establecer una correlación para el índice DCP con el CBR.

Las organizaciones privadas de consultoría en transporte también han desarrollado ecuaciones que pueden ser utilizadas como base de este trabajo: por ejemplo, la propuesta por el Transport and Road Research Laboratory (Thrower, Mortazavi, & Dougill, 1986) de Inglaterra. Existen otras investigaciones realizadas por el Cuerpo

¹⁸ (Webster, y otros, 1992) *Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer*. U.S. : Army Engineers Waterways Experimental Station., 1992.

¹⁹ (Ishai., 1987) *The Relationship between SPT and InSitu CBR Values for Subgrades and Pavements in Arid Zones*. Engineering, Kyoto. : s.n., 1987.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (Webster, Grau, & Williams, Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer, 1992)²⁰, que presentan otras correlaciones obtenidas para los parámetros analizados.

Tabla 3. Correlación entre el número PDC Y CBR.

Ecuación	Autor (es)	Observaciones
$CBR(\%) = \frac{292}{DCP^{1.12}}$	Van Vuuren (1969)	Apta para todo tipo de suelos (granulares y cohesivos).
$CBR(\%) = \frac{208}{DCP^{0.86}}$	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%.


Fuente: Norma ASTM D 6951-03

En 1913, Fellenius (Suecia), desarrolla métodos de muestreo y ensayos para conocer la resistencia al corte de los suelos y otras propiedades. Además, desarrolla el método sueco del círculo para calcular la falla en suelos cohesivos.

En 1925, Terzagui, presenta en Viena el tratado ERDBAUMECHANIK que hace de la Mecánica de Suelos una rama autónoma de la Ingeniería. El científico de Praga, Karl Terzagui, es el padre de la Mecánica de Suelos.²¹

²⁰ Ibíd. (Ishai., 1987) *The Relationship between SPT and InSitu CBR Values for Subgrades and Pavements in Arid Zones*. Engineering, Kyoto. : s.n., 1987.

²¹ (Ralf, 1973) *Mecánica de Suelos en la Ingeniería. Mecánica de Suelos en la Ingeniería*. s.l. : EL ATENEO S.A.S, 1973.p. 722.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

En Concurrencia con la normalización Alemana del "Light Penetrometer", varios países desarrollaron de otra manera sus normas para dispositivos de penetración. El DCP usado por Mn/DOT y varios DOT's en los Estados Unidos y Canadá, fue originalmente desarrollado por Scala (1956) en Australia. Por consiguiente se adoptó de la Norma Africana Central. Después fue simplificado y modificado por Van Vuuren (1969) en Sur África.²²

Osorio y Casas (2011). "Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter del departamento de carreteras de California" (p.23). "Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método CBR se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como sub rasante o material de base en la construcción de carreteras"²³.

"Sobre la base de los resultados obtenidos se aplicó un método estadístico de regresión obteniéndose una ecuación de correlación entre el CBR y PDC, la humedad y la densidad seca, garantizando la aplicabilidad de los resultados. "El aporte social consistió en ampliar el uso del PDC en la evolución in situ de los suelos en Valledupar como alternativa económica, aportando a la empresa ALTAINGCIVIL de Valledupar las ecuaciones de correlaciones desarrolladas"²⁴.


1.8.1 Correlación según su mejor expresión lineal.

En la estadística existen diferentes tipos de tendencia o regresión, donde según el dato que se tenga determina el tipo de línea de tendencia que se debe usar para cada caso.

²² (Harison, 1987) "Correlation Between California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soils,". s.l. : Instn. Civ. Engrs, 1987.pág. 833-844.

²³ (JF Osorio, C Gerencia, y A Nicely, 2013) Correlacion PDC Con CBR para suelos en la localidad de suba. [En línea] 2013. <<http://unimilitar-dspace.metabiblioteca.org/handle/10654/3653>>.[citado 15 Enero, 2019]

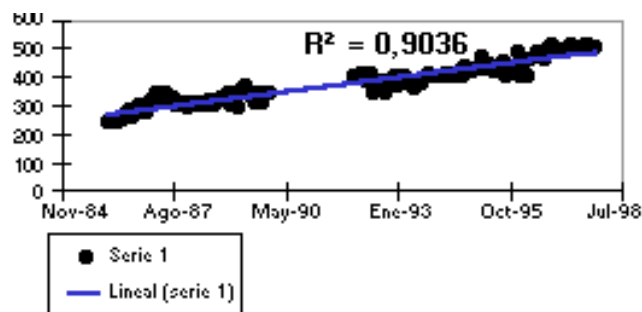
²⁴ (Lacera, (2006) Correlación entre los valores de resistencia a la penetración. [En línea] (2006). <https://es.scribd.com/doc/282387791/correlacion-cbr-pdc>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

1.8.1.1. Confiabilidad de la línea de tendencia: Una línea de tendencia es más fiable cuando su valor R cuadrado se encuentra en o cerca de 1. Cuando se ajusta una línea de tendencia a los datos, Graph calcula automáticamente su valor R cuadrado. Si lo desea, puede mostrar este valor en el gráfico.

- **Tendencia lineal:** es una línea recta de ajuste perfecto que se utiliza para conjuntos de datos lineales simples. Los datos son lineales si la trama en los puntos de datos se asemeja a una línea. Una línea de tendencia lineal frecuentemente muestra que hay algo que aumenta o disminuye a un ritmo constante²⁵.


Ilustración 6. Tendencia Lineal.



Fuente: Libro Probabilidad y Estadística G.ARON ESTUARDO MORALES

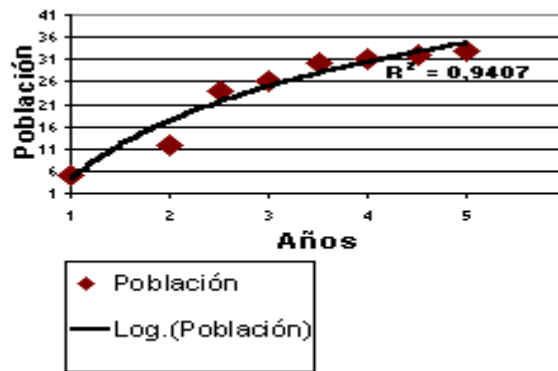
- **Tendencia Logarítmica:** es una línea curva de ajuste perfecto que es muy útil cuando la tasa de cambio de los datos aumenta o disminuye rápidamente. Una línea de tendencia logarítmica puede utilizar valores positivos o negativos.

²⁵ (Microsoft, 2019) línea de tendencia para los datos. [En línea] Office, 2019. [Citado el: 16 de 05 de 2019.] <https://support.office.com/es-es/article/elegir-la-mejor-l%C3%ADnea-de-tendencia-para-los-datos-1bb3c9e7-0280-45b5-9ab0-d0c93161daa8>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

(Microsoft, 2019)

Ilustración 7. Tendencia Logarítmica.

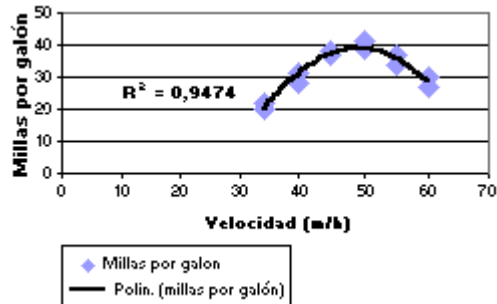


Fuente: Libro Probabilidad y Estadística G.ARON ESTUARDO MORALES

- **Tendencia Polinómica:** es una línea curva que se utiliza cuando varía de datos. Es útil, por ejemplo, para analizar las pérdidas y ganancias de un conjunto de datos de gran tamaño. El orden del polinomio se puede determinar por la cantidad de fluctuaciones en los datos o por la cantidad de ajustes (máximos y mínimos) que aparecen en la curva. Línea de tendencia polinómica de orden 2 tiene normalmente sólo un máximo o mínimo. Orden 3 normalmente tiene uno o dos máximos y mínimos. El orden 4 tiene hasta tres.²⁶

²⁶ (Microsoft, 2019) línea de tendencia para los datos. [En línea] Office, 2019. [Citado el: 16 de 05 de 2019.] <https://support.office.com/es-es/article/elegir-la-mejor-l%C3%ADnea-de-tendencia-para-los-datos-1bb3c9e7-0280-45b5-9ab0-d0c93161daa8>.

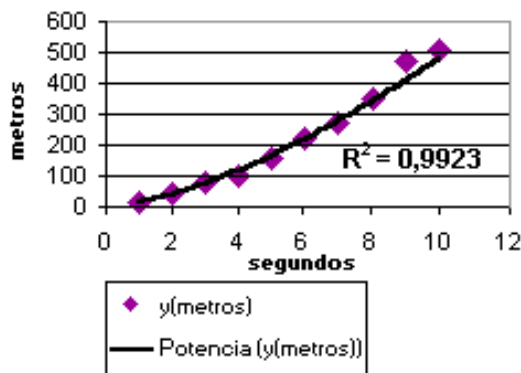
Ilustración 8. Tendencia Polinómica.



Fuente: Libro Probabilidad y Estadística G.ARON ESTUARDO MORALES

- **Tendencia Potencial:** es una línea curva que mejor se utiliza en conjuntos de datos que comparan medidas, aumentan a un ritmo concreto. Por ejemplo, la aceleración de un coche de carreras a intervalos de un segundo. No se puede crear una línea de tendencia de potencia si los datos contienen cero o valores negativos.

Ilustración 9. Tendencia Potencial.



Fuente: Libro Probabilidad y Estadística G.ARON ESTUARDO MORALES

- **Tendencia Exponencial:** es una línea curva que es muy útil cuando los valores de los datos aumentan o se dividen en intervalos cada vez mayores. No se puede crear una línea de tendencia exponencial si los datos contienen valores negativos o si no contienen valores.


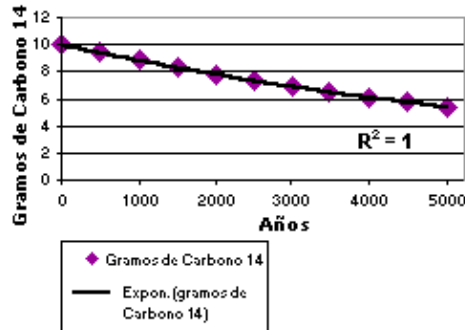
 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

Ilustración 10. Tendencia Exponencial.



Fuente: Libro Probabilidad y Estadística G.ARON ESTUARDO MORALES

1.9. MARCO NORMATIVO.


Tabla 4. Descripción de ensayos I.N.V. E –148 e I.N.V. E –172.

NORMA.	NOMBRE DEL ENSAYO	DESCRIPCIÓN
I.N.V. E –148	CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada	Determinar el índice de resistencia de los suelos subrasante, sub base y base, denominados C.B.R. Este método de ensayo está proyectado, aunque no limitado para la evaluación de resistencia de materiales que contengan tamaños máximos de partículas menores a 19mm (3/4") ²⁷ .
I.N.V. E –172	Uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad	Este método cubre la medida de la tasa de penetración de cono dinámico P.D.C. con el martillo de 8 kg, a través de un suelo inalterado o de materiales compactos. Este ensayo principalmente es utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimento ²⁸ .

FUENTE. Tomado y modificado de las normas INVIAS.

²⁷ (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS E - 148, 2013) E –148 CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada. Pág. 403-422.

²⁸ (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, E- 111, 2013) *Uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad.* 2013.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

1.10. METODOLOGÍA.

Para el desarrollo del proyecto de investigación “CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS”, se busca realizar ensayos de los suelos de la subrasante de esta localidad; en laboratorio para comparar los resultados de los ensayos del CBR de laboratorio y PDC in situ que cumpla con los parámetros establecidos según la normatividad vigente, mediante el índice de confiabilidad entre los dos métodos de ensayos.

Ilustración 11. Ubicación Apiques.



Fuente. Google Earth. Zona Occidental de Bogotá [en línea]. Bogotá: Google Earth [citado 24 Enero 2019].

Disponible en internet:

<URL:<https://www.google.com/maps/@4.7173844,74.1425651,235m/data=!3m1!1e3>>.

La metodología de este proyecto se realizará a través de ciertas actividades de acuerdo con el planteamiento realizado, los cuales se describen a continuación:


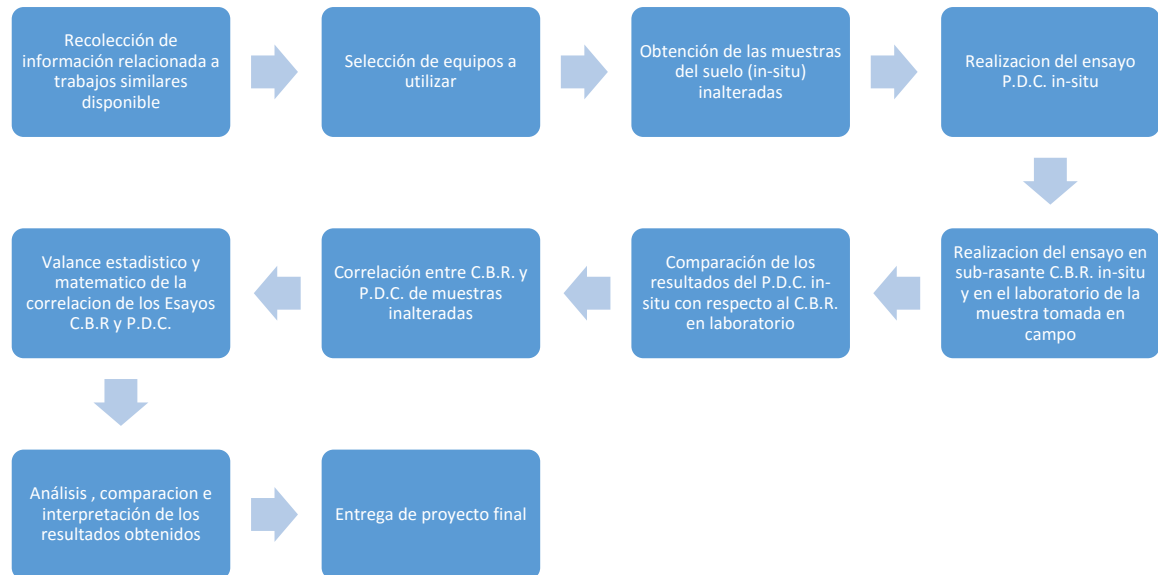
 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--


Ilustración 12. Metodología del proyecto.



Fuente: Propia.

Anteriormente se muestra en la gráfica (*Ilustración 12. Metodología del proyecto.*), ciertas actividades para el desarrollo de este proyecto, por lo tanto se describirán a continuación:


- **Recolección de la Información Disponible:** Consiste en la recolección de información apta y adecuada de las distintas investigaciones realizadas; basadas en normativas, tesis, artículos científicos, que ayudaron a entender los datos y resultados que se obtuvieron durante la elaboración de la investigación.
- **Selección de los equipos a utilizar:** para este proyecto se requieren diferentes tipos de equipos dependiendo de los ensayos que se utilizaron ya sea in-situ (P.D.C), o en laboratorio (C.B.R) que faciliten determinar las propiedades y comportamientos del suelo de acuerdo a las tipologías requeridas.
- **Obtención de muestras del suelo in-situ:** Consiste en la adquisición de muestras inalteradas de los suelos en los puntos indicados en la *Ilustración 11. Ubicación Apiques*. Para esto se realizaran 4 apiques en el área de estudio.
- **Aplicación del Ensayo PDC in situ:** La aplicación del ensayo Penetrómetro Dinámico Cónico (PDC) in situ, este ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante ensayo.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

- **Aplicación del ensayo C.B.R. en el laboratorio de la muestra tomada en campo:** La aplicación del ensayo California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio, consiste en llevar las muestras inalteradas extraídas de campo al laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, a las cuales también se determinó su contenido de humedad, límites de consistencia y granulometría.
- **Comparación de resultados del PDC in situ con respecto al CBR de laboratorio:** De los ensayos realizados en el suelo de la localidad de Engativá, se analizaran haciendo uso de diversos métodos y técnicas.
 - El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
 - Método desarrollado por la “American Association of State Highways and Transportation Officials” (AASHTO).
- **Correlación de “CBR de laboratorio y PDC in situ”:** Una vez determinado todos los resultados del ensayo de Penetración Dinámica de Cono in situ y el CBR laboratorio, se realizara una gráfica, colocando en el eje de las ordenadas el número de PDC (mm/golpes) obtenidas de la curva de PDC del suelo a estudiar, y en el eje de las abscisas el valor CBR laboratorio de diseño. De esa manera se demuestra una ecuación de correlación entre los resultados de los ensayos de resistencia PDC in situ con CBR de laboratorio, de los diferentes tipos de suelos estudiados, en la cual mediante esta ecuación permitió determinar el CBR de diseño.
- **Análisis e interpretación de los resultados obtenidos:** Después de haber obtenidos los datos entre ambos ensayos, se validara la correlación obtenida en este trabajo, la comparación de los parámetros se analizara detalladamente respecto a los resultados finales, A partir del procesamiento de datos de cada uno de los ensayos realizados se presenta la información tabulada determinando de esta manera las conclusiones relacionados a los objetivos trazados en la investigación.
- **Entrega de proyecto final:** Luego de tener todos los resultados analizados, se realiza el informe final y se presentara ante la comunidad educativa.

2. GEOLOGÍA REGIONAL.

El proyecto se localiza sobre la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, más específicamente en el extremo sur de la Sabana de Bogotá, que a su vez hace parte

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

del Altiplano Cundiboyacense. Esta área se caracteriza por un relieve de llanura, con un clima templado.


Geológicamente en el área de la Sabana de Bogotá aflora una secuencia de rocas sedimentarias, con unidades que geocronológicamente van desde el Cretácico superior hasta el Cuaternario. Esta secuencia está constituida de base a techo por el Grupo Villeta, continua el Grupo Guadalupe, conformado por las formaciones Arenisca dura, Plaeners, Labor y Tierna; y en la parte superior las formaciones Guaduas y Bogotá de edad Paleógeno; finalmente esta secuencia la coronan depósitos de edad cuaternaria conformados en variados ambientes (fluvial, lacustre, coluvial), y rellenos de naturaleza antrópica (Tabla 5. Leyenda de geología regional para el área del proyecto.).

Tabla 5. Leyenda de geología regional para el área del proyecto.

ERA	PERIODO	UNIDAD GEOLOGICA		DESCRIPCIÓN	
Cenozoico	Cuaternario	Relleno de basura		Rellenos heterogéneos de origen antrópico	
		Relleno de excavación			
		Depósitos de llanura aluvial		Depósitos de origen, aluvial, coluvial y lacustre, de edad reciente	
		Terrazas altas			
		Complejo de conos			
	Neógeno				
Paleógeno	Formación Bogotá		Pgb	Arcillolita abigarrada, con esporádicas intercalaciones de cuarzoarenita, de grano medio a grueso.	
	Fm Guaduas		KPgg	Arcillolita abigarrada, con capas de arenita de cuarzo de grano fino, limolitas y arenitas de cuarzo con capas de carbón.	
Mesozoico	Cretácico	Grupo Guadalupe	Fm Labor y Tierna	Ksglt	Arenita de cuarzo, grano fino a medio en capas gruesas.
			Fm Plaeners	Ksgpl	Limolita silícea y chert, en capas delgadas a medias, con intercalaciones de lodolita y arenita de cuarzo de grano fino en capas delgadas a medias.
			Fm Arenisca Dura	Ksgd	Arenita de cuarzo de grano fino, en capas delgadas a muy gruesas, con intercalaciones de limolitas silíceas.
		Grupo Villeta		Ksv	Conformado por las formaciones Trincheras, Socota, El Peñon, Capotes, Hiló, Pacho, Simijaca, La Frontera y Conejo

Fuente: Plancha 227 – La Mesa. SGC, 1998

De acuerdo con el Mapa Geológico para Ingeniería, Sabana de Bogotá, del Servicio Geológico Colombiano (2004), específicamente sobre el área del proyecto afloran

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

depósitos de edad Cuaternaria, los cuales han sido subdivididos de acuerdo al ambiente que los originó. Con base en lo anterior, se observan depósitos aluviales, depósitos lacustres, depósitos fluviolacustres, depósitos fluviotorrenciales y rellenos antrópicos (rellenos de excavaciones y rellenos de basura).


3. GEOMORFOLOGÍA

La clasificación de las unidades geomorfológicas se desarrolla a partir de la jerarquización que presenta el SGC (2012), en “Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa”, para la cual, las categorías definidas de escala menor a mayor son: Geomorfoestructuras, provincias, regiones, unidades, subunidades y componente geomorfológico.

De acuerdo a lo anterior, el área del proyecto se localiza en la Geomorfoestructura del Sistema Orogénico Andino, en la Provincia de la Cordillera Oriental de Colombia, en una región geomorfológica, definida por un ambiente morfogenético fluvial, con geoformas de Llanura aluvial, y que corresponde a la Sabana de Bogotá.

Las unidades geomorfológicas presentes en el área del proyecto se originaron genéticamente en dos ambientes; el primero un ambiente Fluvial, asociado a la actividad fluvial del último periodo geológico, durante el cual, esta área fue cubierta por una capa de sedimentos, erodados a partir de las rocas sedimentarias que conforman la Cordillera Oriental y transportados por acción del agua, hasta la zona de la actual Sabana de Bogotá. El segundo ambiente morfogenético, corresponde al ambiente Antropogénico, asociado con toda la actividad humana desarrollada alrededor de la construcción de la Ciudad capital de la República de Colombia, y sus pueblos aledaños.

Para este documento se tomó la información geomorfológica existente del Mapa Geomorfológico de la Sabana de Bogotá, del Servicio Geológico Colombiano (2004), realizado a escala 1:25.000, el cual se realizó con la metodología SGC (2012) anteriormente explicada. De acuerdo a lo anterior, a continuación se

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

describen las unidades geomorfológicas, las cuales se muestra su clasificación de acuerdo a la metodología del SGC (2012).

Tabla 6. Unidades Geomorfológicas para el área del Proyecto.

GEOMORFO-ESTRUCTURA	PROVINCIA GEOMORFOLOGICA	REGION GEOMORFOLOGICA	UNIDAD GEOMORFOLOGICA	
Sistema Orogénico Andino	Cordillera Oriental de Colombia	Ambiente Fluvial Llanura Aluvial	Planicies y deltas Lacustrinos	Fpla
			Planos anegadizos	Fpa
			Cuencas de decantación	Fcd
			Planicies o llanuras de inundación	Fpi
			Terrazas fluviales sub-recientes	Ftas
			Abanico aluviales	Faa
			Meandros abandonados	Fmc
			Deltas de desborde natural	Fdd
			Barras puntuales	Fbp
			Cauce aluvial	Fca
		Ambiente Antropogénico Llanura Antrópica	Planos y campos de relleno	Ar
			Embalses y humedales	Apir

Fuente: Consorcio SEDIC – ConCol 023. 2017. Modificado Mapa Geomorfológico de la Sabana de Bogotá SGC (2004)

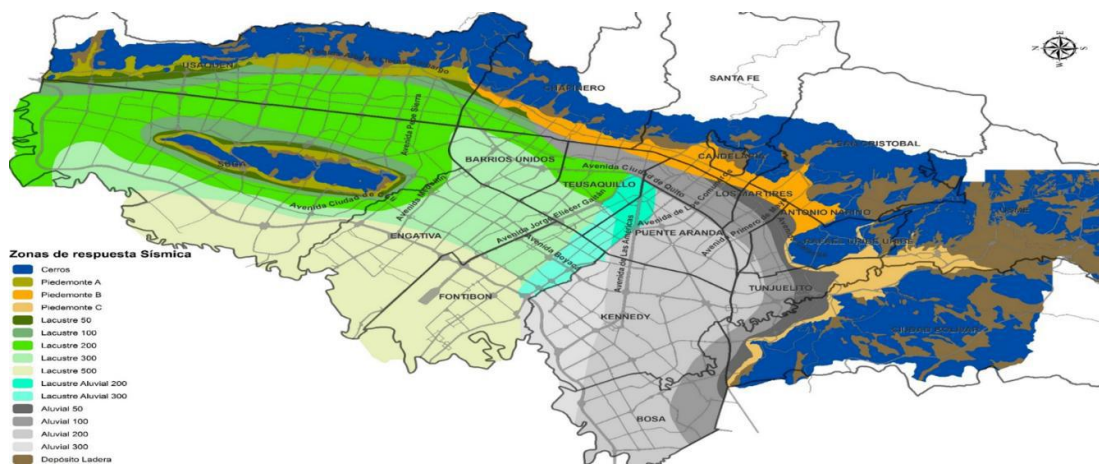
4. IDENTIFICACIÓN DEL TERRENO.

La localidad de Engativá está Ubicada al Noroccidente del Distrito Capital, limita al Norte con la localidad de Suba por medio del río Juan Amarillo, al Oriente con las localidades de Barrios Unidos y Teusaquillo por medio de la Avenida carrera 68 o Avenida del Congreso Eucarístico, al Sur con la localidad de Fontibón por medio de la Avenida El Dorado o Avenida Jorge Eliécer Gaitán y la Avenida José celestino mutis y al Occidente con los municipios de Cota y Funza por medio del río Bogotá. La superficie total de Engativá es de 3588,1 hectáreas (ha), de las cuales 2768.2 hectáreas (ha) corresponden a suelo urbano, 148,9 hectáreas (ha) constituyen suelo de expansión urbana y 614 hectáreas que corresponden a las áreas protegidas de Engativá, tales como Humedal Jaboque, Humedal Santa María del

lago, Humedal Tibabuyes y planta de tratamiento de agua residual El Salitre, esta área protegida representa el 18% de la superficie total de la localidad.; La localidad no cuenta con suelo rural.²⁹

El terreno objeto del presente estudio está ubicado en la sabana de Bogotá, más exactamente en el barrio San Lorenzo de la localidad de Engativá. Este terreno presenta contacto superficial con suelos lacustres 500, y en él predominan limos y arcillas a una profundidad baja. Este tipo de suelo permite que los resultados de esta investigación sean más exactos al obtener las muestras inalteradas.

Figura 3. Zonas de respuesta sísmica en Bogotá D.C.




FUENTE: Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (IDIGER).

5. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

En el marco de la normatividad y de las especificaciones técnicas pertinentes, se emplean ensayos de laboratorio. Para conocer los parámetros se optó por la realización de cuatro apiques en el sector de Engativá (ver **Ilustración 11. Ubicación Apiques.**), con el fin de tener una mejor visión de los estratos. El material necesario

²⁹ (JF Osorio, C Gerencia, y A Nicely, 2013) Correlacion PDC Con CBR para suelos en la localidad de suba. [En línea] 2013. <<http://unimilitar-dspace.metabiblioteca.org/handle/10654/3653>>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

para la realización de los ensayos de laboratorio ha sido obtenido a profundidades de 0.50, 1.00 y 1.50 metros respectivamente. La cantidad de material recolectado es suficiente para cubrir la necesidad de los ensayos, teniendo en cuenta una cantidad extra para eventualidades.

Previo la determinación de las características físicas del suelo, se ha propuesto realizar los siguientes ensayos: Granulometría, Contenido de humedad, Límites de Atterberg y Clasificación del suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) y por clasificación ASHTO.

5.1. CLASIFICACIÓN DEL SUELO.

El comportamiento ingenieril de los suelos permite la clasificación de estos en grupos y subgrupos, con base en propiedades similares. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos (Das, Braja M, 2001). Se ha procedido a clasificar los suelos utilizando SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) siendo el sistema unificado el preferido por los ingenieros geotécnicos, mientras el método desarrollado por los norteamericanos está más ligado al campo de los ingenieros viales.

La clasificación SUCS se realiza acorde a lo recomendado por la American Standard of Testing Materials (ASTM D 2487, 2011). Este método fue propuesto por Casagrande en 1948, en el que dispone una clasificación en dos grupos:

1. Suelos de grano grueso (gravas y arenas), con menos del 50% que pasa a través de tamiz N° 200; los símbolos de grupo comienzan con un prefijo, G (gravas) y S (arenas).
2. Suelos de grano fino (limos y arcillas), con más del 50% que pasa a través de tamiz N° 200; los símbolos de grupos comienzan con un prefijo, M (limos), C (arcillas) y O (limos y arcillas orgánicos).

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad (LL<50)
- H: alta plasticidad (LL>50)

6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

6.1. Límites de consistencia.

6.1.1. Limite Líquido:

El límite líquido es aquel contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.³⁰

Para el apique 1 se obtuvieron los siguientes datos y cálculos

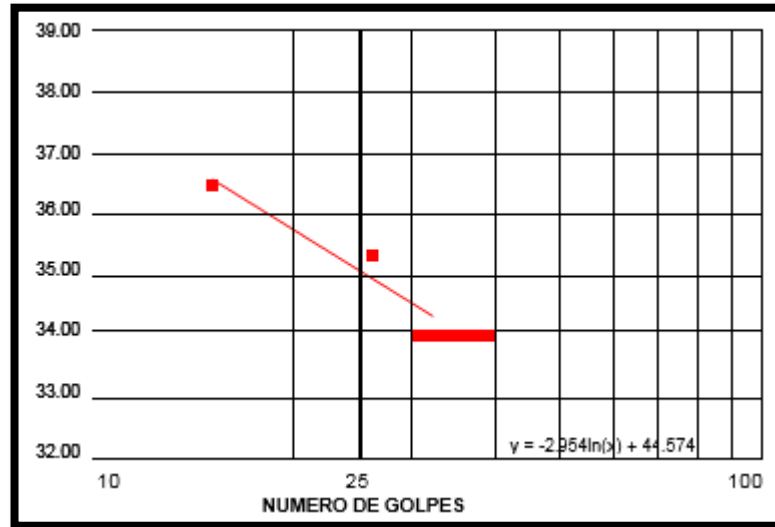
Tabla 7 Datos y Cálculos en apique 1

Ensayo	1	2	3	
Lata No	467	464	215	H U M E D A D %
Peso suelo húmedo + lata (g)	18.85	17.58	17.84	
Peso suelo seco + lata (g)	15.42	14.45	14.43	
Peso de lata (g)	5.35	5.59	5.08	
Número de golpes, N	32	26	15	
Humedad (%)	34.06	35.33	36.47	
Incertidumbre ± %	4.64E-05	6.02E-05	1.39E-04	

Fuente: Propia

³⁰ ((INVIAS), 2012) I.N.V.E -125 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS. BOGOTÁ : s.n., 2012.

Ilustración 13 Curva de fluidez de Apique 1 - M3



Fuente: Propia

Al procesar estos datos con la curva de fluidez se obtuvo como resultado que el apique 01 – M3, tiene un límite líquido de 35.01%. (Ver ANEXO 1. INFORME EMITIDO POR LABORATORIO DE SUELOS.)

Este mismo proceso se realizó para los otros 4 apiques con sus respectivas muestras, obteniendo los resultados se muestra la siguiente tabla de resumen:


Tabla 8 Cuadro de Resultados de limite liquido de los apiques de estudio

Nº de Apique	Muestra	Limite Liquido (%)
1	M3	35,1
	-	-
2	M1	41,1
	M2	47,2
3	M2	45,4
	M4	62,1
4	M3	64,3
	M4	36,6

Fuente: Propia

6.1.2. Limite Plástico:

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen, descrito en la norma INVIAS (I.N.V.E-126).³¹

Para el apique 1 se obtuvieron los siguientes datos y cálculos:

Tabla 9 Cuadro de Resultados de limite plástico para el apique 1 – M3

Ensayo No	1	2
Lata No	48	40
Peso suelo húmedo + lata (g)	15.82	15.34
Peso suelo seco + lata (g)	14.16	13.76
Peso de lata (g)	4.61	5.03
Humedad (%)	17.38	18.10
Incertidumbre ± %	1.62E-04	1.78E-04

Fuente: Propia

Para hallar el límite de plasticidad se realizó un promedio entre el porcentaje de humedad entre la determinación de ensayo 1 y 2, del apique 1 para así obtener un valor de 17,74% de limite plástico.


Este mismo procedimiento de cálculo se aplicó para las muestras correspondientes a los apiques restantes; y se resume en la siguiente tabla:

Tabla 10 Cuadro de Resultados de limite plástico de los apiques de estudio

N° de Apique	Muestra	Limite Plastico (%)
1	M3	17,74
	-	-
2	M1	19,25
	M2	23,85
3	M2	24,85
	M4	27,74
4	M3	28,7
	M4	19,97

Fuente: Propia

³¹ ((INVIAS), 2012) I.N.V.E -125 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS. BOGOTÁ : s.n., 2012.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

En las muestras (calicatas) siguientes se obtiene un límite plástico que presenta una variedad de plasticidad en el sitio de muestreo que oscila entre el 17% hasta 27%.

Obtenidos los límites líquidos y plásticos se logra obtener los índices de plasticidad con una simple resta entre estos límites, (límite líquido - límite plástico), los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 11 Cuadro de Índice de plasticidad de las apiques de estudio

Nº de Apique	Muestra	Índice de plasticidad (%)
1	M3	17,3
	-	-
2	M1	21,8
	M2	23,3
3	M2	20,4
	M4	34,4
4	M3	35,5
	M4	16,6

Fuente: Propia

En el tabla anterior, se observa que los índices plásticos en el apique 1 muestra M3 y apique 4 muestra M4 son muy inferiores respecto a las muestras de las otras muestras (calicatas).

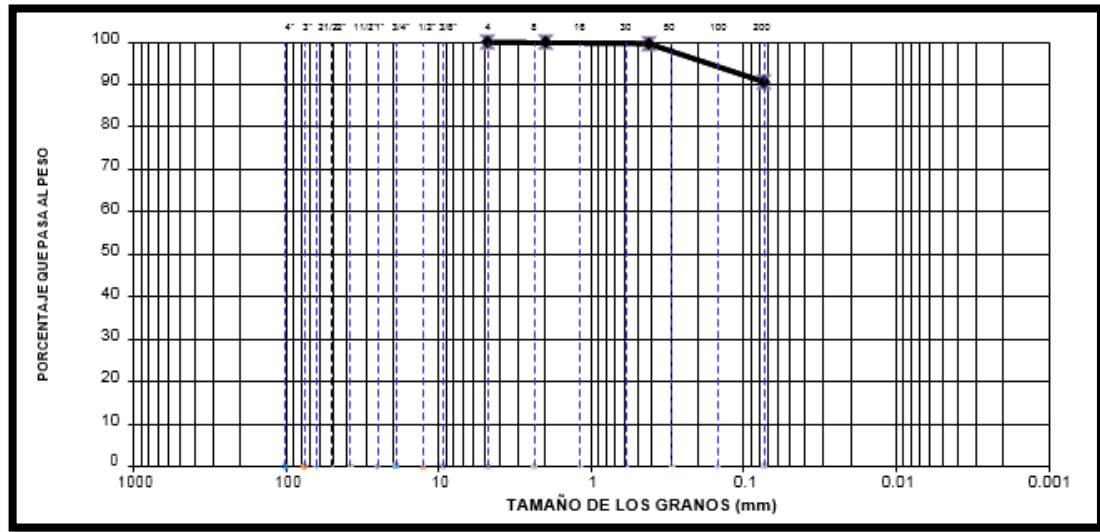
6.1.3. Granulometría:

Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200), descrita en la Norma (I.N.V.E-123 -124)³².

Para el apique 1 Muestra 3 (calicata) se realizó el tamizado, anotando todos los pesos retenidos en cada malla para una muestra de 240,06 gramos; y se obtuvo la siguiente curva granulométrica:

³² ((INVIAS), 2012) I.N.V.E-126 LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD DE LOS SUELOS. BOGOTÁ : s.n., 2012.

Ilustración 14 Distribución granulométrica por tamizado



Fuente: Propia

De acuerdo a la curva granulométrica de la calicata se puede observar un fuerte crecimiento a partir del tamiz n° 40, de esto se puede decir que tiene una presencia de limos y arcillas y esto se comprueba con los resultados que son:

Arena: 5,18% y Arcillas y limos: 94,82 %.

Se realiza el mismo proceso de mallado para las siguientes muestras (calicatas), así como también su respectiva curva granulométrica obteniendo los siguientes resultados de % de arena, grava, arcilla y limo; así como se observa en la siguiente tabla resumen:


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--


Tabla 12 Cuadro de resumen granulométrico de suelos en las muestras (calicatas) de investigación

N° de Apique	Muestra	Grava (%)	Arena (%)	Arcilla y limo (%)
1	M3	0,00	5,18	94,82
	-	-	-	-
2	M1	0,00	9,31	90,69
	M2	0,98	7,49	91,53
3	M2	0,10	2,34	97,56
	M4	0,00	2,25	97,75
4	M3	0,00	0,50	99,50
	M4	0,00	9,81	90,19

Fuente: Propia


Se observa que en todas las muestras (calicatas) se encuentra un valor de arcilla y limo mayor al 50 %; entonces esto nos indica que son suelos finos con casi nada de grava.

Con el desarrollo de los estudios (contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, granulometría) se puede determinar el tipo de suelos según la clasificación SUCS, que es el empleado en este informe de tesis.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

6.2. Estratigrafías de los apiques y su muestra según su profundidad.

Ilustración 15 Perfil estratigráfico del suelo

	<p>PERFIL ESTRATIGRAFICO</p>	<p>FORMATO FDE-070-LAB FECHA 3/04/2019 PAGINA 1 de 1 VERSIÓN 0</p>		
<p>CÓDIGO DE LA OBRA: <u>SAN LORENZO - JHON CONTRERAS - ARNOL GARCIA</u> # APIQUE: <u>1</u></p> <p>DESCRIPCION: <u>N: 04°43'5.25" - W: 04°08'32.74"</u></p> <p>FECHA DE TOMA: <u>18/03/2019</u></p> <p>PROFUNDIDAD: <u>1.50m</u> # ENSAYO: <u>1b633</u></p> <p>UBICACION: <u>BRR. SAN LORENZO</u></p>				
Descripción del Material	Profundidad (m)		Muestra	Observaciones
RELLENO	Desde 0.00	Hasta 0.45		COMPACTACION MEDIA - HUMEDAD MEDIA-CONTAMINADO, PRESENCIA PARTICULAS ORGANICAS.
LIMO ARCILLOSO CAFE	0.45	0.66	1	HUMEDAD MEDIA - PRESENCIA DE PARTÍCULAS ORGANICAS - COMPACTACION MEDIA.
LIMO ARCILLOSO CAFE CLARO	0.66	0.95	2	HUMEDAD MEDIA - PRESENCIA DE PARTÍCULAS ORGANICAS - VETAS DE OXIDACION.
LIMO ARCILLOSO CAFE CLARO	0.95	1.50	3	NO ENCUENTRA NIVEL FREATICO - SE TOMA CBR.


Fuente: Propia

Con el perfil estratigráfico se puede observar a que distancia de profundidad se obtuvo el CBR en campo, por lo tanto, se observa un perfil por cada apique o muestra obtenida. Ver ANEXO 1. INFORME EMITIDO POR LABORATORIO DE SUELOS.

6.3. Clasificación de los suelos.

Hay dos sistemas de clasificación de suelos de uso común para propósitos de ingeniería.

1) el Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS o USCS) que se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

2) el sistema de clasificación AASHTO que se usa por la construcción de carreteras y terraplenes.³³

Ambos sistemas utilizan los resultados del análisis granulométrico y la determinación de los límites de Atterberg para determinar la clasificación del suelo.

El tipo de suelo según los datos obtenidos de acuerdo a la clasificación SUCS es:

Tabla 13 Clasificación del tipo de suelo según SUCS en las muestras (calicatas) de estudio

N° de Apique	Muestra	Clasificación SUCS	Descripción del suelo
1	M3	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
	-	-	
2	M1	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
	M2	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
3	M2	CL	Arcilla de Baja Plasticidad
	M4	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
4	M3	CH	Arcilla de Alta Plasticidad
	M4	CL	Arcilla de Baja Plasticidad

Fuente: Propia

6.4. Resultados del valor de soporte de california (CBR) con muestras inalteradas

Este ensayo se aplicó a muestras inalteradas las cuales fueron obtenidas de cada una de las calicatas a una profundidad de entre 0.90 a 1,60 m.

Para el apique 01 de la muestra (calicata -03) M3, se inició primero limpiando ambas caras del molde de CBR, luego al momento de enrasar se obtuvo dos muestras de suelo de ambas caras para poder determinar el contenido de humedad de la muestra inalterada en estado natural, esto mismo se realizó luego para la muestra saturada.

³³ (Lorenzo, 2018) Clasificación ingenieril. [En línea] 2018. https://www.lorenzoborselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

Tabla 14 Datos Obtenidos de humedad del Apique 1 Muestras 3 (Calicatas) Estado Natural y Sumergido

Determinacion de la Humedad	Estado Natural	Estado Sumergidas
	1	2
Lata N°	13,00	27,00
Masa suelo Humedo + lata (gr)	413,70	200,00
Masa de suelo seco + lata (gr)	334,44	156,00
Masa de lata (gr)	5,92	6,00
Masa de suelo seco (gr)	328,52	159,36
Masa de agua (gr)	79,26	43,91
Humedad w%	24,13	29,20

Fuente: Propia

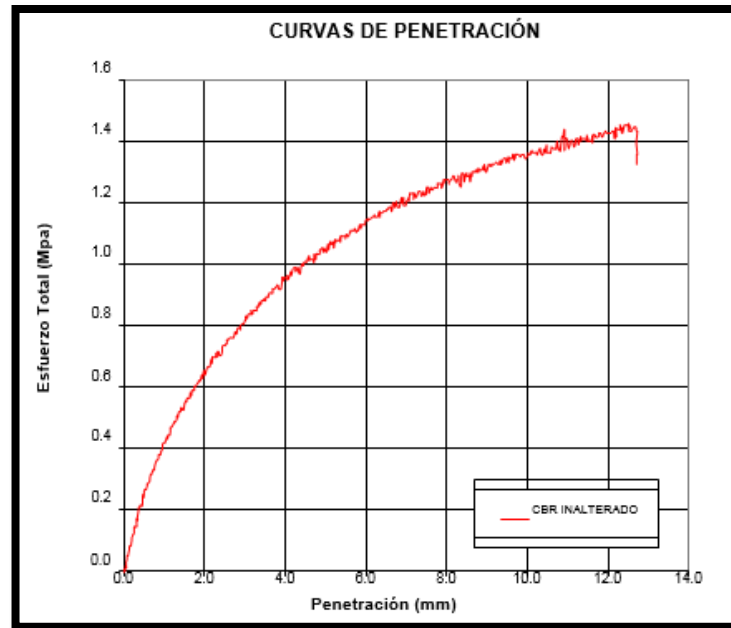
Tabla 15 Datos Obtenidos de densidad del Apique 1 Muestras 3 (Calicatas) Estado Natural y Sumergido

Determinacion de la Densidad	Estado Natural	Estado Sumergidas
	1	2
Masa de suelo + molde (gr)	11845	11999
Masa de molde (gr)	7993,6	7993,6
Masa del suelo seco en model (gr)	2841,4	4005,4
Densidad de humedad (Ton/m3)	1,81	1,89
Densidad seca (Ton/m3)	1,46	1,46

Fuente: Propia

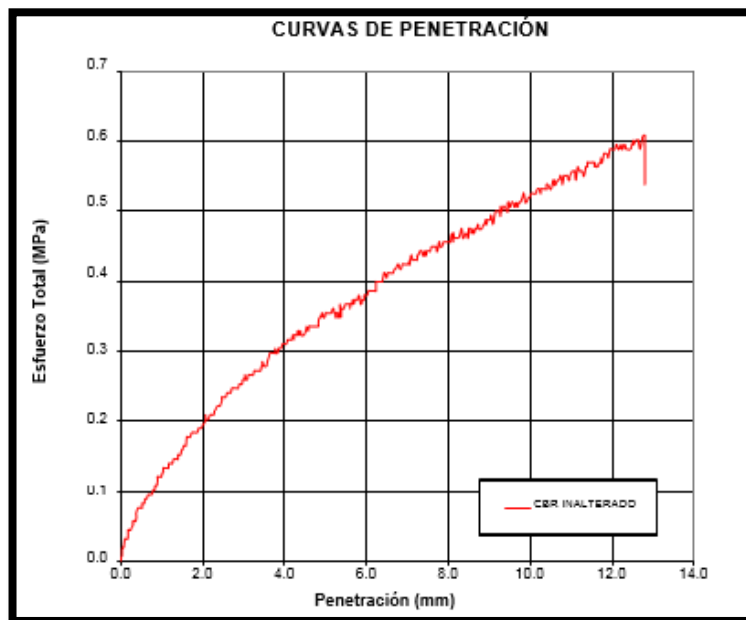
Una vez obtenidos estos datos para la muestra en estado natural, se procedió a realizar la penetración de la misma; y esta actividad se implementó para la muestra saturada. Por tal razón, las curvas de penetración vs la Carga, tanto para las muestras inalteradas en estado natural como la sumergida (saturada), se muestran a continuación:

Ilustración 16 Grafica de penetraciones carga en estado natural apique 1 muestra 1 (calicata)




Fuente: Propia

Ilustración 17 Grafica de penetraciones carga en estado saturado apique 1 muestra 1 (calicata)



Fuente: Propia

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.	FECHA: 29 de Abril de 2019 ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas
---	--	---

Para las siguientes muestras se realizaron los mismos pasos que para el apique 1 muestra 03 de la (calicata) y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 16 Resumen de ensayo de CBR en muestras inalteradas en estado natural y saturado

RESUMEN DE ENSAYOS DE CBR EN MUESTRAS INALTERADAS								
N°	Muestra (calicata)	Ensayo	Densidad Humeda (Ton/cm3)	Densidad seca (Ton/cm3)	Humedad (%)	Expansion (%)	CBR a la Penetracion (Pulg)	CBR (%)
Apique 1	M3	Estado Natural	1,81	1,46	24,13	-	0,1"	10,7
							0,2"	10,1
		Sumergida (saturado)	1,89	1,46	29,2	4,64	0,1"	3,4
							0,2"	3,44
Apique 2	M2	Estado Natural	1,8	1,39	29,07	-	0,1"	4,0
							0,2"	3,9
		Sumergida (saturado)	1,84	1,39	32,1	1,32	0,1"	3,49
							0,2"	3,32
Apique 3	M4	Estado Natural	1,76	1,31	33,93	-	0,1"	3,4
							0,2"	2,7
		Sumergida (saturado)	1,83	1,31	39,7	5,28	0,1"	2,11
							0,2"	1,72
Apique 4	M3	Estado Natural	1,96	1,6	22,17	-	0,1"	1,9
							0,2"	1,7
		Sumergida (saturado)	1,99	1,6	22,2	2,35	0,1"	2,39
							0,2"	2,03

Fuente: Propia

La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente del 0.1" según los parámetros de la norma INVIAS.³⁴

6.5. Análisis estadístico de las muestras.

En el análisis estadístico para cada una de las muestras, se tomó el Índice de PDC en el décimo (10) golpe.

Por otro lado, para realizar el cálculo el índice de PDC el cual nos arroja el informe de laboratorio se puede realizar de la siguiente manera. (Ver anexo 2 ANEXO 2. CUADRO DE CÁLCULO PARA PDC Y CBR)

³⁴ (VIAS, 2012) *I.N.V.E - 148-7 CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRAS INALTERADAS*. BOGOTÁ : s.n., 2012.


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

Tabla 17. Calculo de PDC y CBR.

1	2	3	4	5	6	7	8
Número de golpes A	Penetración acumulada ^B (mm)	Penetración entre lecturas ^C (mm)	Penetración por golpe ^D (mm)	Factor del martillo ^E	Índice PDC ^F mm/golpe	CBR % ^G	Humedad (%) ^H
0	2	--	--	--	--	--	--
5	25	25	5	1	5	50	
5	55	30	6	1	6	40	
15	125	70	5	1	5	50	
10	175	50	5	1	5	50	
5	205	30	6	1	6	40	
5	230	25	5	1	5	50	
10	280	50	5	1	5	50	
5	310	30	6	1	6	40	
5	340	30	6	1	6	40	
5	375	35	7	1	7	35	
5	435	60	12	1	12	18	

Fuente: Norma I.N.V. E- 172 – 07.

Donde:

A= Numero de Golpes de 1 martillo entre lecturas

B= Penetración acumulada luego de cada serie de golpes

C= Diferencia de penetración acumulada (Nota B) entre lecturas

D= Nota C/Nota A

E= Colocar "1" si el martillo es de 8 kg

F= Nota D x Nota E


G= Correlación entre el CBR y el índice de PDC

H= Porcentaje de Agua (cuando se dispone del dato)

Como se observa en la tabla anterior, se puede hallar el índice de PDC el cual es el mismo valor que la penetración por golpe, por consiguiente se realiza el proceso de hallar el Índice de PDC para todos los apiques, para ver a mayor detalle remítase (ANEXO 2. CUADRO DE CÁLCULO PARA PDC Y CBR).

Según la clasificación del suelo presentada, el laboratorio se procede a realizar el cálculo del CBR siguiendo los parámetros de la norma I.N.V. E- 172 – 07.

EL CBR estimado in-situ se calcula utilizando el índice PDC y la penetración por golpe, la cual es relacionada con la profundidad. La penetración por golpe se emplea para estimar el CBR in-situ o la resistencia al corte, utilizando una correlación

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	---	---

apropiada. Por ejemplo, la correlación entre la penetración por golpe (PDC) y el CBR.

Con la siguiente ecuación se realizó los porcentajes de CBR presentes en los anexos N° 2 (ANEXO 2. CUADRO DE CÁLCULO PARA PDC Y CBR). Esta ecuación es usada para todos los suelos siguiendo los parámetros establecidos por la norma INVIAS.


Suelos tipo CL con CBR < 10:

$$CBR = \frac{1}{0,017019x(PDC)^2}$$

A continuación se muestra una tabla, la cual nos dice el porcentaje de CBR que se obtiene según el índice de PDC que arrojan los datos de campo.

Tabla 18. Representación del CBR

Índice de PDC mm/golpe	CBR %
<3	100
3	80
4	60
5	50
6	40
7	35
8	30
9	25
10-11	20
12	18
13	16
14	15
15	14
16	13
17	12
18-19	11
20-21	10
22-23	9
24-26	8
27-29	7
30-34	6

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

35-38	5
-------	---

Fuente: Norma I.N.V. E- 172 - 07

Según la tabla anterior, muestra como entre menos índice de PDC mayor será el CBR y viceversa, con esto se logra identificar si los datos de laboratorio y los datos que vamos a realizar tienen coherencia.

Siendo así, se procedió a realizar el gráfico el %CBR vs Índice PDC para cada apique.

6.5.1. Apique No. 1.

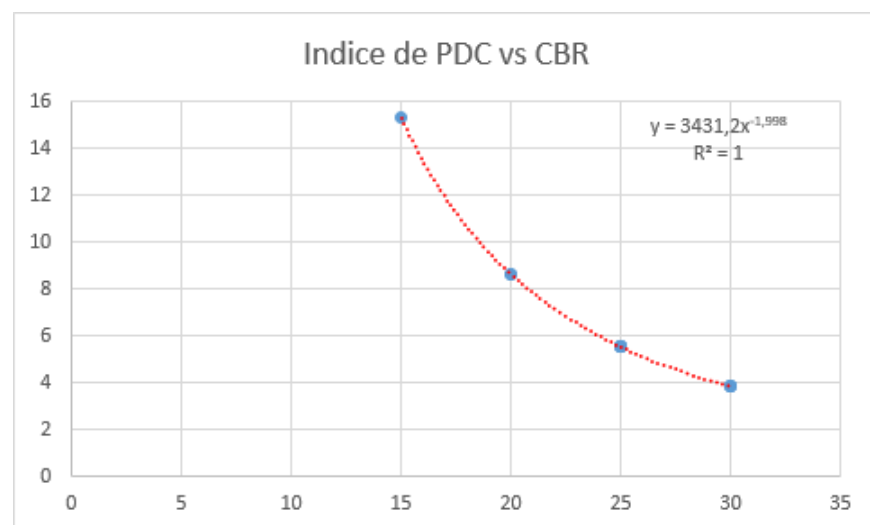
Con los datos representativos del Apique 1 Muestra 03 en los informes de las muestras se realizara a continuación una curva de índice de PDC vs porcentaje de CBR. (Ver ANEXO 2. CUADRO DE CÁLCULO PARA PDC Y CBR)

Tabla 19 Correlación de PDC vs CBR Apique 1

Número de Golpes	ÍNDICE PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	25	5,52
1	25	5,52
2	30	3,84
3	25	5,52
4	30	3,84
5	30	3,84
6	25	5,52
7	25	5,52
8	30	3,84
9	25	5,52
10	20	8,63
11	20	8,63
12	15	15,34

Fuente: Propia

Ilustración 18. Correlación de PDC vs CBR apique 1



Fuente: Propia

Una vez graficados los datos de la *Tabla 19 Correlación de PDC vs CBR Apique 1*, se determinó una línea de tendencia que representa la correlación P.D.C. vs C.B.R. y una ecuación lineal de grado potencial para la forma:

$$Y = 3431,2x^{-1,998} \text{ con un } R^2 = 1$$

En donde:

X= número de Golpes del P.D.C

Y= C.B.R. %

Una vez determinada la ecuación de la correlación P.D.C. con C.B.R. para los datos de los estudios de suelos se realizara nuevamente una correlación de esta ecuación reemplazando la X con el índice de P.D.C. de la muestra inalterada.

$$Y = 3431,2(20^{-1,998}) \text{ con un } R^2 = 1$$

$$Y = C.B.R = 8.63 \%$$

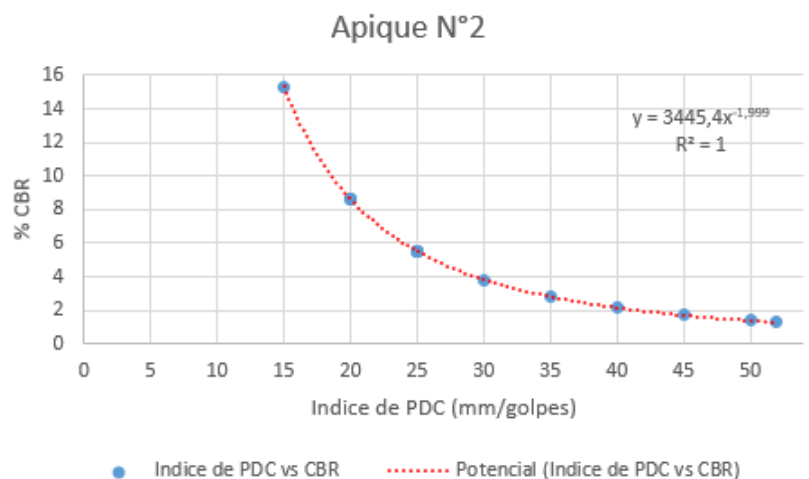
A continuación se elaborara el mismo procedimiento para los apiques realizados en campo:

6.5.2. Apique No.2:

Tabla 20 Correlación de PDC vs CBR Apique 2

Número de Golpes	ÍNDICE PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	52	1,28
1	35	2,82
2	40	2,16
3	45	1,7
4	50	1,38
5	25	5,52
6	30	3,84
7	25	5,52
8	25	5,52

Ilustración 19. Correlación de PDC vs CBR Apique 2



Fuente: Propia



9	25	5,52
10	20	8,63
11	25	5,52
12	20	8,63
13	20	8,63
14	15	15,34

Fuente: Propia

$$Y = 3445,4x^{-1,999} \quad \text{con un } R^2 = 1$$

$$Y = 3445,4(20^{-1,999}) \quad \text{con un } R^2 = 0,9897$$

$$Y = C.B.R = 8,63 \%$$

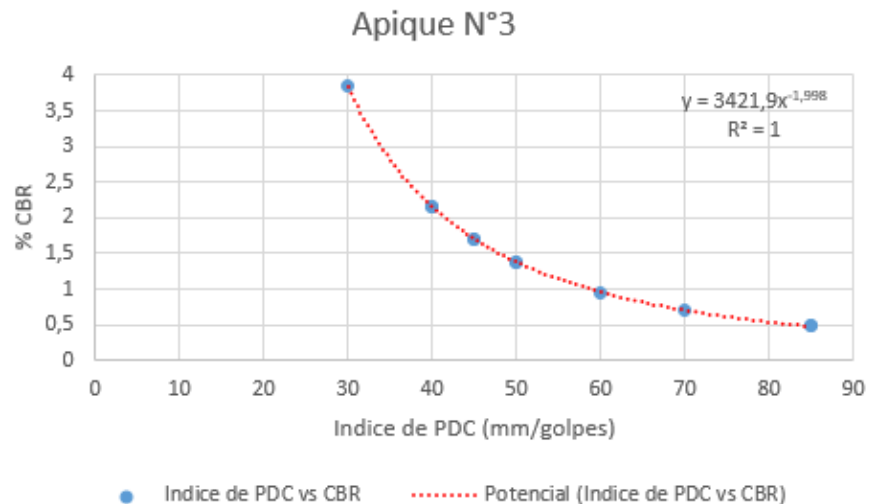
6.5.3. Apique No. 3:

Tabla 21 Correlación de PDC vs
CBR Apique 3

Número de Golpes	ÍNDICE PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	40	2,16
1	30	3,84
2	45	1,7
3	45	1,7
4	50	1,38
5	50	1,38
6	70	0,7
7	40	2,16
8	60	0,96
9	85	0,48
10	85	0,48

Fuente: Propia

Ilustración 20. Correlación de PDC vs CBR Apique 3



Fuente: propia

$$Y = 3421,9x^{-1,998} \quad \text{con un } R^2 = 1$$

$$Y = 3421,9(85^{-1,998}) \quad \text{con un } R^2 = 1$$

$$Y = C.B.R = 0,47 \%$$

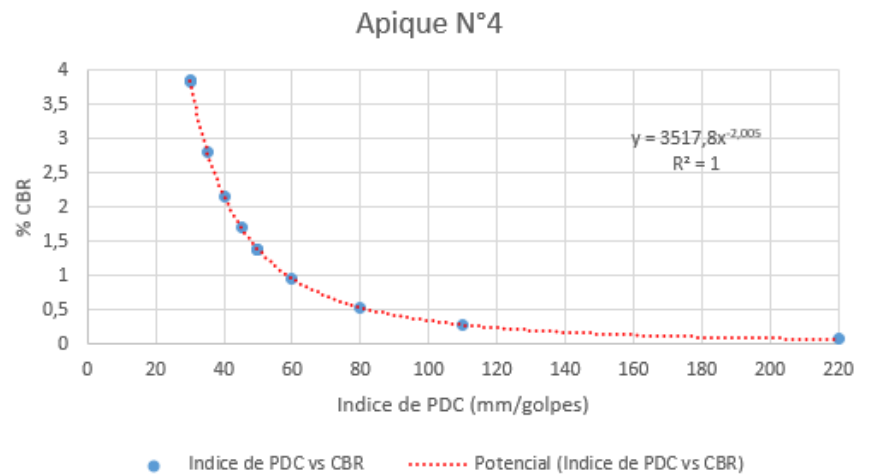
6.5.4. Apique No. 4:

Tabla 22 Correlación de PDC vs CBR Apique 3

Número de Golpes	ÍNDICE PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	45	1,7
1	35	2,82
2	50	1,38
3	40	2,16
4	30	3,84
5	50	1,38
6	50	1,38
7	110	0,29
8	80	0,54
9	60	0,96
10	220	0,07
11	30	3,85

Fuente: Propia

Ilustración 21. Correlación de PDC vs CBR Apique 3



$$Y = 3517,8x^{-2,005} \quad \text{con un } R^2 = 1$$

$$Y = 3517,8(220^{-2,005}) \quad \text{con un } R^2 = 1$$


$$Y = C.B.R = 0,07 \%$$

Una vez obtenidos estos datos de la muestra inicial de los CBR, se procedió a realizar una tabla resumen de la correlación de CBR en cada muestra con su respectivo índice de PDC.

Tabla 23 Tabla Resumen Correlación CBR Tesis

N° Apique	Muestra	Índice de PDC (mm)	CBR tesis
1	M3	20	8,630
	-	-	-
2	M1	20	8,638
	M2	20	8,638
3	M2	85	0,478
	M4	85	0,478
4	M3	220	0,071
	M4	220	0,071

Fuente: Propia

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	---	--

En la *Tabla 23 Tabla Resumen Correlación CBR Tesis* se puede observar que está en un rango el 0,07 y 8,638 para los 4 apiques realizados, obteniendo un suelo con unas características entre muy pobre a regular tanto en resistencia y capacidad portante para una estructura normal de pavimentos.


Se quiso profundizar un poco más a cerca del CBR para presente proyecto y compararlo con las ecuaciones de varios autores; teniendo en cuenta cada restricción que tiene la ecuación para su uso, ya que todas las ecuaciones vienen específicamente para un tipo de suelo, dada que nuestra clasificación de suelos está realizada por la norma SUCS y AASTHO. Dicha clasificación del suelo para el presente proyecto, presenta CL y CH, lo cual, se utilizó las Ecuaciones de Webster S.L. et al. (1994), Cuerpo de Ingenieros (USA), Kleyn y Van Heerden, MOPT Colombia (1992).

Se aplicará estas fórmulas para el CBR Inalterado como se puede observar en las siguientes ecuaciones:

Tabla 24 Correlación entre el número de PDC y CBR

Ecuacion	Autor	Observacion
$CBR(\%) = \frac{1}{0.002871 * DCP}$	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 CBR<10%
$CBR = 348.3(PDC)^{-1.0}$	Cuerpo de Ingenieros (USA)	Aplica ara suelos CH
$CBR = 567.0(PDC)^{-1.40}$	MOPT Colombia (1992)	Todo Tipo de Suelos
$CBR = 428.5(PDC)^{-1.28}$	Kleyn y van heeden	Todo Tipo de Suelos

Fuente: Norma ASTM D 6951-03

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.	FECHA: 29 de Abril de 2019 ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas
---	--	---

Por consiguiente a la tabla anterior se realiza un cuadro resumen con las formulas aplicadas según la norma ATDM D 6951-03 y el autor Webster S.L. et al. (1994) para hallar otro índice de CBR y poder compararlo con el resultado de tesis y los hechos en campo.

Tabla 25 Tabla Resumen CBR por Webster S.L. et al.

N° Apique	Muestra	Clasificación	Índice de PDC (mm/golpe)	CBR por Webster S.L. et al. (1994).
1	M3	CL	20	8,631
	-	-	-	-
2	M1	CL	20	8,631
	M2	CL	20	8,631
3	M2	CL	85	0,478
	M4	CH	85	4,098
4	M3	CH	220	1,583
	M4	CL	220	0,071

Fuente: Propia


Tabla 26. Tabla Resumen CBR por Cuerpo de Ingenieros (USA)

N° Apique	Muestra	Clasificación	CBR Natural Inalterado	Índice de PDC (mm)	Cuerpo de Ingenieros (USA)
1	M3	CL	10,7	20	-
	-	-		-	-
2	M1	CL	4,0	20	0,15
	M2	CL		20	0,15
3	M2	CL	4,3	85	0,01
	M4	CH		85	4,10
4	M3	CH	1,9	220	1,58
	M4	CL		220	0,00

Fuente: Propia

Tabla 27. Tabla Resumen CBR por Kleyn & Van Heerden.

N° Apique	Muestra	Clasificación	Índice de PDC (mm/golpe)	Kleyn y Van Heerden
1	M3	CL	20	9,260
	-	-	-	-
2	M1	CL	20	9,260
	M2	CL	20	9,260
3	M2	CL	85	1,453
	M4	CH	85	1,453

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.		FECHA: 29 de Abril de 2019 ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas

4	M3	CH	220	0,430
	M4	CL	220	0,430

Fuente: Propia

Tabla 28. Tabla Resumen CBR por MOPT Colombia (1992)

N° Apique	Muestra	Clasificación	Índice de PDC (mm/golpe)	MOPT Colombia (1992)
1	M3	CL	20	8,553
	-	-	-	-
2	M1	CL	20	8,553
	M2	CL	20	8,553
3	M2	CL	85	1,128
	M4	CH	85	1,128
4	M3	CH	220	0,298
	M4	CL	220	0,298

Fuente: Propia


Según los resultados obtenidos anteriormente, mediante las ecuaciones de cada uno de los autores, se podría catalogar en la clasificación de suelos según el manual de laboratorio de suelo de ingeniería civil por la siguiente tabla:

Tabla 29 Clasificación de los suelos en función de la Subrasante

CBR	Calificación	Uso	SUCS	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	CH, MH	A5, A6, A7
3-7	Pobre - Regular	Subrasante	CH, MH	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Subrasante	CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base-Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil. Bowles J.(1980)

Según lo anterior, el suelo se clasifica con un CBR de 0-3 para cada uno de los resultados obtenidos, lo cual nos indica que es un suelo pobre. Por otro lado la clasificación AASHTO presentada en la tabla anterior, se clasifican en siete grupos (A-1, A-2, ..., A-7), según su granulometría y plasticidad. Más resumidamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices N° 200, 40 y 10, y de la fracción que pasa por el tamiz N° 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz n° 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz n° 200). Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.	FECHA: 19 de Mayo de 2019 ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas
---	--	--

6.6. Comparación de los CBR desarrollados mediante la Norma INVIAS y resultados de Laboratorio.

Respecto a la *Tabla 29 Clasificación de los suelos en función de la Subrasante*, se realiza la clasificación de los CBR obtenidos en el área del proyecto y de los desarrollados por la norma INVIAS, se presenta un tabla resumen de ello.

Tabla 30. Resumen de CBR

N° Apique	Muestra	Clasificación	Índice de PDC (mm)	CBR Natural Inalterado	Clasificación	CBR tesis	Clasificación	CBR por Webster S.L. et al. (1994).	Clasificación	Cuerpo de Ingenieros (USA)	Clasificación	Kleyn y Van Heerden	Clasificación	MOPT Colombia (1992)	Clasificación
1	M3	CL	20	10,7	Regular	8,542	Regular	8,631	Regular	-	Regular	9,260	Regular	8,553	Regular
	-	-	-			-		-		-					
2	M1	CL	20	4,0	Pobre - Regular	8,660	Regular	8,631	Regular	0,1470	Regular	9,260	Regular	8,553	Regular
	M2	CL	20			8,660		8,631		0,1470		9,260		8,553	
3	M2	CL	85	4,3	Pobre - Regular	0,420	Muy Pobre	0,478	Muy Pobre	0,0081	Muy Pobre	1,453	Muy Pobre	1,128	Muy Pobre
	M4	CH	85			0,420		4,098		Pobre- Regular		4,0976		Pobre- Regular	
4	M3	CH	220	1,9	Muy Pobre	0,076	Muy Pobre	1,583	Muy Pobre	1,5832	Muy Pobre	0,430	Muy Pobre	0,298	Muy Pobre
	M4	CL	220			0,076		0,071		0,0012		0,430		0,298	

Fuente: Propia

ELABORO:

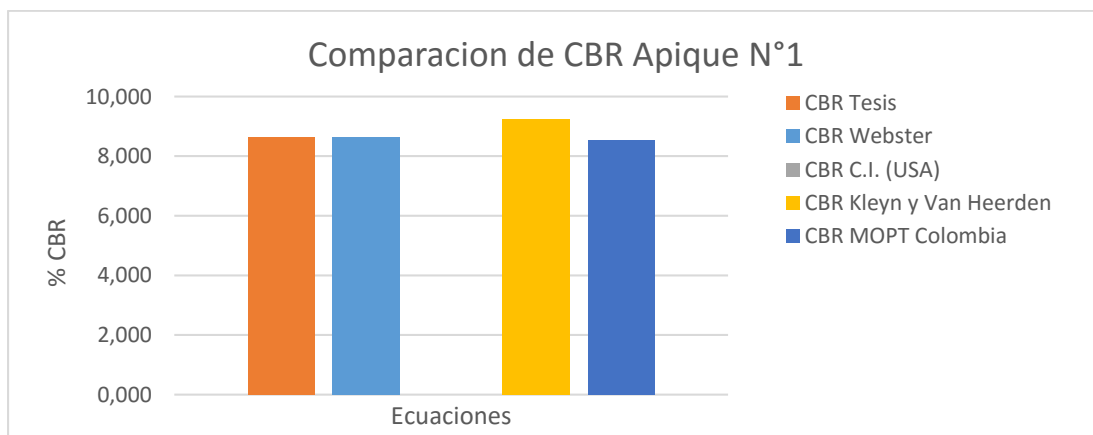
Jhon Fredy Contreras Avila
 Arnol Esmith García García

DOCENTE ASESOR :

Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas

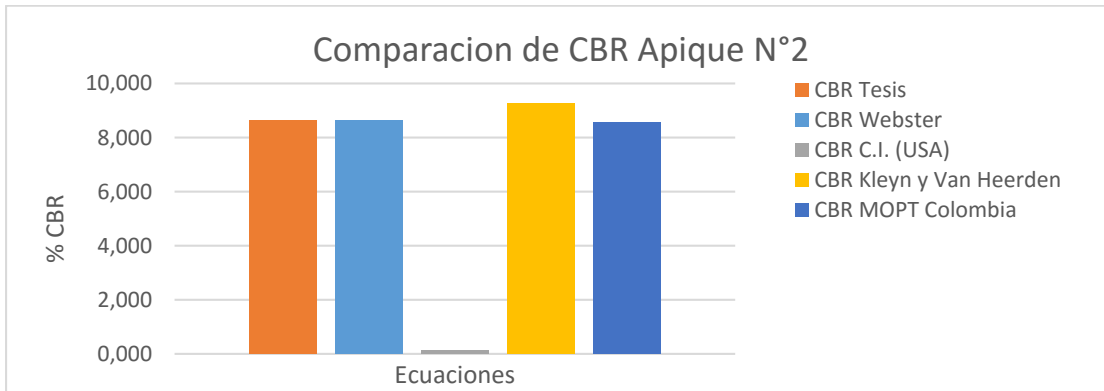
A continuación se muestran cuatro (4) diagramas de barras donde se compara los CBR resultantes de las diferentes ecuaciones utilizadas y nombradas anteriormente, buscando verificar cual es la ecuación más acertada para el diseño del suelo en la localidad de Engativá. Se presenta una gran diferencia de la ecuación del Cuerpo de Ingenieros (USA) respecto de las demás la cual representa un porcentaje de CBR casi nulo, del cero por ciento así relacionándola con un uso para solo subrasante. Las demás ecuaciones utilizadas se aproximan al CBR dado por el laboratorio por lo cual presentan un margen de error muy mínimo la cual se puede relacionar con un tipo de suelo regular, puesto que el presente índice se encuentra entre la clasificación de (siete - veinte). Esto conlleva a entender que el ensayo de PDC y con más exactitud el índice de PDC es el causante de obtener estos porcentajes de CBR tan aproximados al del laboratorio en el área del proyecto, puesto que en cada ecuación el Índice de PDC es el factor principal para que el CBR sea un resultado exitoso.

Ilustración 22. Comparación de CBR Apique N° 1.



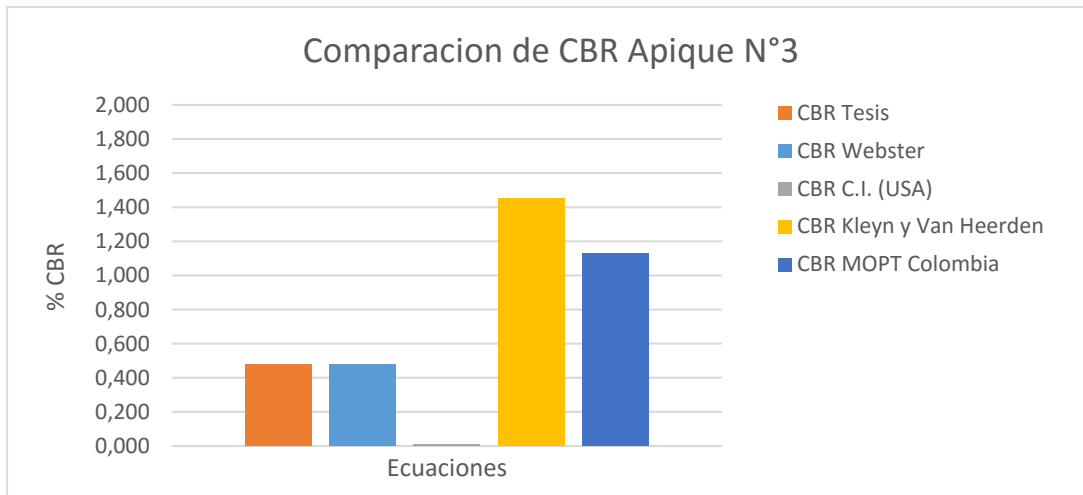
Fuente: Propia

Ilustración 23. Comparación de CBR Apique N° 2.



Fuente: Propia

Ilustración 24. Comparación de CBR Apique N° 3.



Fuente: Propia


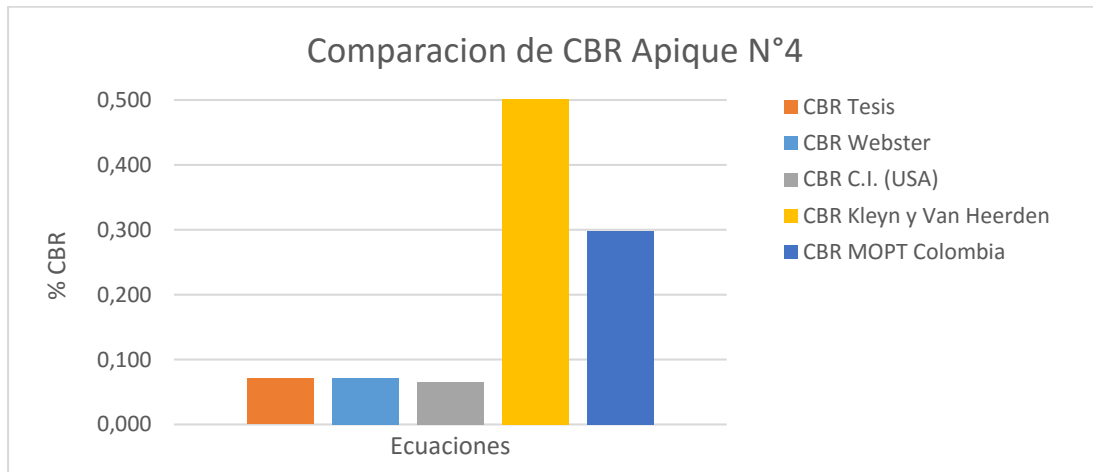
 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	---	--

Ilustración 25. Comparación de CBR Apique N° 4.



Fuente: Propia


Por consecuente el ensayo de P.D.C no es el más apto para este tipo de correlaciones en la localidad de Engativá, ya que por cada golpe realizado su penetración es demasiado profunda, lo cual nos indica que es un suelo muy inestable y de poca resistencia, lo cual lo hace para uso de subrasante.

7. Análisis General

Los valores obtenidos para el ensayo de CBR efectuados sobre la subrasante, presentan clasificación entre Regular y muy pobre con valores que van desde 0.01 % hasta 9 %, lo cual ofrece una capa de resistencia baja o regular para el soporte de cualquier estructura de pavimento.

Los resultados obtenidos para el CBR, correlacionados con el PDC por las ecuaciones planteada por el Congreso de Ingeniería, presentan resultados más bajos, lo cual se vería reflejado en el sobre diseño o mejoramiento del suelo, generando mayores costos para el proyecto.

Las ecuaciones planteadas se utilizaron en las condiciones y ensayos para los suelos del área de influencia del proyecto, por lo que se debe verificar su aplicación y corrección, en caso de ser necesario, para su implementación.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---


Este proyecto presenta los resultados del análisis y la obtención de modelos para la correlación entre el CBR inalterado, el índice de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), para suelos cohesivos (CL y CH) encontrados en el área del proyecto, los cuales pretenden mejorar la confiabilidad para la utilización del PDC en la evaluación estructural del suelo que conforme la capa de una estructura para pavimento. Se incluyen además, la misma idea de correlaciones, pero aplicado a diferentes fórmulas. El objetivo principal de esta investigación, es explorar algunas de las aplicaciones de un equipo tan sencillo, práctico y económico como es el PDC.

Estos modelos se seleccionaron con mayor bondad de ajuste junto con algunas aplicaciones prácticas de los mismos. En cuanto al análisis estadístico de la información, se evalúa la colinealidad entre variables y su incidencia en los resultados obtenidos aplicando modelos múltiples.

Se encontró que la ecuación Lineal (potencial), para efectos de este trabajo, es la que más se ajusta a la correlación P.D.C. con C.B.R. con los datos obtenidos de los estudios de suelo en la localidad de Engativá, y que tiene el valor de R^2 más alto. Sin embargo, en los 4 apiques realizados en el área del proyecto, se obtuvo una exactitud $R^2= 1$, lo cual nos indica, que hay un 100% de certeza en el momento de realizar dicha correlación y que existen valores de CBR muy similares comparados con los que se nos entrega en los ensayos.

Se correlacionó los resultados del Penetrómetro Dinámico de Cono (Índice de PDC) con respecto al porcentaje California Bearing Ratio (CBR de diseño inalterado) y se obtuvo una ecuación por cada apique.


La ecuación para el tipo de suelo arcilloso de baja plasticidad (CL) de la localidad de negativa es una ecuación potencial con un coeficiente de correlación $R^2= 1$ debido a lo dicho anteriormente es muy confiable para el desarrollo de las correlaciones. Aunque esta correlación R^2 puede ser aplicable para coeficientes después de 0,90 obteniéndose resultados confiables y aceptables en un 90% en adelante.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1. Conclusiones:

- Para el presente proyecto no es viable aplicar la ecuación del “cuerpo de ingenieros” para suelos colombianos, ya que los resultados obtenidos no logran representar correctamente el comportamiento y la capacidad de soporte de nuestros suelos.
- La relación entre el CBR y los parámetros físicos de los suelos, no siempre es de tipo lineal. En algunos casos, la relación es potencial o exponencial, según el parámetro de que se trate. En este caso lo más cercano al ciento por ciento (100%) para su confiabilidad.
- El CBR no depende de un único parámetro, sino de la combinación de varios de ellos, especialmente en determinados rangos de valores. Esto propone dos condiciones: La primera, que una correlación múltiple siempre reflejará un valor más real del CBR y la segunda, que cada correlación realizada se deberá plantear por tipo de suelo según la clasificación que se tenga.
- Los resultados de C.B.R. obtenidos mediante la ecuación de “Kleyn y Van Heerden” son un poco mayores que los obtenidos con la ecuación de la correlación por tendencia potencial, en este caso, para suelos en la localidad de Engativá. Por lo tanto, se puede incurrir en un margen de error considerable en el momento de seleccionar el C.B.R. de diseño por medio de una correlación.
- Por otra parte, es posible calibrar una ecuación para la correlación P.D.C. con C.B.R. con un margen de error más pequeño, si se tiene una mayor

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--


cantidad de datos homogéneos, de esta forma se obtendrían valores de R^2 más cercanos a 1.

- Finalmente, se considera que, dados los resultados presentados en nuestro trabajo, no es 100% confiable utilizar la correlación P.D.C. vs C.B.R aplicando cuerpo de ingenieros como se hace en la actualidad para algunos estudios de suelos en Colombia.

8.2. Recomendaciones:

Se sugiere ampliar el número de ensayos y muestras analizadas para desarrollar uno o varios modelos de correlación más complejos entre los parámetros de PDC y el CBR, tomando en cuenta la relación entre estos parámetros, su influencia en el comportamiento del suelo, el tipo y naturaleza del suelo en donde se quiera estudiar.

Debido a las variaciones obtenidas con las correlaciones planteadas con las diferentes ecuaciones que miden la capacidad de soporte de los suelos, es recomendable plantear ecuaciones propias para cada zona, o realizar los ensayos directos, que frecuentemente resultan más asertivos pero mucho más costosos. No se deben correlacionar por medio de ecuaciones que pueden arrojar resultados que no exponen las condiciones reales sobre las cuales se apoyaran las estructuras a diseñar, en este caso una estructura de pavimento.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VIAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

9. BIBLIOGRAFÍA.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS E - 112. 2013. *E - 112 - 1 TOMA DE MUESTRAS SUPERFICIALES DE SUELO INALTERADO.* 2013.

(INVIAS), INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. 2012. *I.N.V.E -125 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS.* BOGOTÁ : s.n., 2012.

—. **2012.** *I.N.V.E-126 LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLÁSTICIDAD DE LOS SUELOS.* BOGOTÁ : s.n., 2012.

Castro, Dimas Malagón. 2011. Online Instructor ' s Manual for Using Econometrics Sixth Edition. [En línea] 2011.

Chang, L. 2014. C.B.R. (California Bearing Ratio). [En línea] 17 de Diciembre de 2014.
<https://es.slideshare.net/chininx100pre/cbrensayos>.

Duque Escobar, Carlos Enrique. 2003. Esfuerzo en masas de suelos. [En línea] 2003.
<http://bdigital.unal.edu.co/53252/47/esfuerzosenmasasdesuelo.pdf>.

Duque G. Escobar E. 2002. Mecanica de los Suelos. [En línea] 2002.
<<https://es.scribd.com/document/58118584/Mecanica-de-Suelos>>.

G, ALVARO J. GONZALEZ. CALCULO SIMPLIFICADO DE CAPACIDAD PORTANTE. *CALCULO SIMPLIFICADO DE CAPACIDAD PORTANTE.* [En línea]
https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/calculo_simplificado_capacidad_portante.pdf.


Harison, J.A. 1987. "Correlation Between California Bearing Ratio and Dynamic Cone Penetrometer Strength Measurement of Soils,". s.l. : Instn. Civ. Engrs, 1987.

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2014. GEOMORFOLOGÍA DE COLOMBIA. [En línea] 2014. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/geomorfologia-colombia>.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS E - 148. 2013. E – 148.CBR de suelos compactos en el laboratorio y sobre muestra inalterada. 2013, págs. 403-423.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, E- 111. 2013. *Uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad.* 2013.

INVIAS. 2013. Normas de ensayos para materiales de carreteras. [En línea] 2013.
<http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--

Ishai, M. Livneh and I. 1987. *The Relationship between SPT and InSitu CBR Values for Subgrades and Pavements in Arid Zones.* Engineering, Kyoto. : s.n., 1987.

J.B Burlan y C. Viggiani. 2000. GEOTECH-year 2000, Developments in Geotechnical Engineering. [En línea] 2000. J.B. Burland y C. Viggiani, «Underexcavating the Tower of Pisa: Back to the future», GEOTECH-YEAR 2000, Developments in Geotechnical Engineering, 2000 <<http://materias.fi.uba.ar/6408/Burland - Underexcavating the tower of Pisa.pdf>>.

Jahren, C.T., Ellsworth, B.J. y and Bergeson, K. 1999. *Journal of Construction Engineering.* 1999. págs. 325-329.

JF Osorio, C Gerencia, y A Nicely. 2013. Correlacion PDC Con CBR para suelos en la localidad de suba. [En línea] 2013. <<http://unimilitar-dspace.metabiblioteca.org/handle/10654/3653>>.

Kleyn, E., Maree, J., and Savage, P. May, 1982. *"The Application of a Portable Pavement Dynamic Cone Penetrometer to Determine In Situ Bearing Properties of Road Pavement Layers and Subgrades in South Africa"*. Amsterdam : Proc. Of the Second European Symposium on Penetration Testing, May, 1982.

Lacera, G. F. (2006. Correlación entre los valores de resistencia a la penetración. [En línea] (2006. <https://es.scribd.com/doc/282387791/correlacion-cbr-pdc>.

Lorenzo, Borselli. 2018. Clasificación ingenieril. [En línea] 2018. https://www.lorenzo-borselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf.


2019. Microsoft . *línea de tendencia para los datos.* [En línea] Office, 2019. <https://support.office.com/es-es/article/elegir-la-mejor-l%C3%ADnea-de-tendencia-para-los-datos-1bb3c9e7-0280-45b5-9ab0-d0c93161daa8>.

Microsoft. 2019. línea de tendencia para los datos. [En línea] Office, 2019. [Citado el: 16 de 05 de 2019.] <https://support.office.com/es-es/article/elegir-la-mejor-l%C3%ADnea-de-tendencia-para-los-datos-1bb3c9e7-0280-45b5-9ab0-d0c93161daa8>.

Ralf, Karl Terzaghi y Teck. 1973. Mecanica de Suelos en la Ingenieria. *Mecanica de Suelos en la Ingenieria.* s.l. : EL ATENEO S.A.S, 1973.

RODRÍGUEZ-GUTIERREZ, J.A. y ARISTIZABAL-OCHOA, J.D. 2004. Asentamientos y esfuerzos verticales en suelos que soportan cargas verticales de distribución arbitraria. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil [en línea], vol. 4, no. 1988, pp. 105-116. [En línea] 2004. <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/view/80/80>.

Sánchez-Leal, Freddy J. Blog de Conceptos y aplicaciones de la tecnología Ramcones en suelos y mezclas asfálticas. [En línea] <http://blogramcodes.blogspot.com/2012/04/tres-formas-de-diseñar-un-suelo.html>.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	---	---

TAYLOR, D. 1948. Fundamentals of soil mechanics. United stated of America. S.l.: s.n. [En línea] 1948. <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4380774/mod_resource/content/1/Taylor-1948-Fundamentals_of_Soil_Mechanics.pdf>..


VALLEJO, L.I.G. De, FERRER, M., ORTUÑO, L. y OTEO, C. 2002. Ingeniería Geológica. S.l.: s.n. [En línea] 2002. https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf.

VÍAS, INSTITUTO NACIONAL DE. 2003. E-152, COMPRESION INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS I.V.N. 2003.

VIAS, INSTITUTO NACIONAL DE. 2012. *I.N.V.E - 148-7 CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRAS INALTERADAS.* BOGOTÁ : s.n., 2012.

Webster, S.L., Grau, R.H. y and Williams, T.P. 1992. *Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer.* U.S. : Army Engineers Waterways Experimental Station., 1992.

Whitman, Lambe &. 2004. *Mecanica de Suelos.* Mexico : s.n., 2004.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---

FIRMA DE LOS ESTUDIANTES

Firma Estudiante 1

Jhon Fredy Contreras Avila

Código: 505270

Firma Estudiante 2


Arnol Esmith García García

Código: 505150



FIRMA DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Firma Director del Trabajo de Grado
Juan Carlos Ruge

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
--	--	--


10. ANEXOS

10.1. ANEXO 1. INFORME EMITIDO POR LABORATORIO DE SUELOS.

Los resultados del estudio de suelos fueron realizados por el laboratorio DIMCO INGENIEROS LTDA. Estos resultados se encuentran localizados en la carpeta **02. Anexos** en formato PDF, nombrado como “INFORME EMITIDO POR LABORATORIO DE SUELOS”.

10.2. ANEXO 2. CUADRO DE CÁLCULO PARA PDC Y CBR.

Este documento presenta los resultados de los cálculos realizados por los estudiantes. Estos resultados se encuentran localizados en la carpeta **02. Anexos** en formato PDF, nombrado como “CUADRO DE CÁLCULO PARA PDC Y CBR”.

 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) PARA SUELOS EN LA LOCALIDAD DE ENGATIVÁ DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, UTILIZANDO LA NORMA DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS.</p>	<p>FECHA: 29 de Abril de 2019</p> <p>ELABORO: Jhon Fredy Contreras Avila Arnol Esmith García García</p> <p>DOCENTE ASESOR : Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas</p>
---	---	---