

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

E INGENIERÍA CIVIL Y DEL AMBIENTE

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL TERRENO POR MEDIO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (DCP) PARA SUELOS PUZOLÁNICOS ZONA DE CERRO COLORADO

TESIS PRESENTADA POR EL
BACHILLER
ELVIO ARTURO QUISPE ARONÉS

PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AREQUIPA – PERÚ
2012

DEDICATORIA

A Dios, por las bendiciones que me da a cada instante, y por ser tan maravilloso.

A los pilares de mi vida, mis padres, Maura y Elvio por el ejemplo, la valentía, el coraje, el liderazgo y el profundo amor con el que cada día me guían.

A mis grandes ejemplos mis hermanos, Elvio Alfredo y Alfredo, que son mi inspiración diaria y mi motivo para seguir adelante.

A mi gran compañera en la vida Rocio, quien es una bendición que Dios puso en mi vida, y a su amor puro y sincero, que es mi aliento de vida a cada momento.

Y a todos mis amigos, amigas y maestros de la vida, por enseñarme que la vida es una y hay que vivirla.

Arturo Quispe

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	i
---------------------------	----------

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.1. Descripción	2
1.1.2. Enunciado	3
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. HIPÓTESIS	5
1.4.1. Hipótesis General y Específica	5
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
2.2.1. Suelos puzolánicos	15
2.2.1.1. Definición	15
2.2.1.2. Propiedades de la puzolana	18
2.2.1.2.1. Propiedades físicas	18
2.2.1.2.2. Composición química	18
2.2.1.3. Principales usos y aplicaciones	19
2.2.1.4. Clasificación de la puzolana	20
2.2.1.4.1. Puzolanas naturales	20
2.2.1.4.2. Puzolanas artificiales	21

2.2.1.5. Puzolana en el Perú	22
2.2.1.5.1. Puzolana en Arequipa.....	26

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

3.1. TÉCNICA E INSTRUMENTO	29
3.1.1. Técnica	29
3.1.2. Instrumento	29
3.2. CAMPO DE VERIFICACIÓN	29
3.2.1. Ámbito de localización	29
3.2.2. Unidades de estudio	29
3.2.2.1. Población	29
3.2.2.2. Muestra	30
3.3. ESTRATEGIAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	30
3.3.1. Criterios y procedimientos	30
3.3.2. Procesamiento de la información	30
3.4. MARCO METODOLÓGICO	31
3.4.1. Recopilación de datos	31
3.4.2. Investigación de campo	31
3.4.3. Investigación de laboratorio	38

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE SUELOS

4.1. GENERALIDADES	40
4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO	40
4.2.1. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.....	41
4.2.2. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad	48
4.2.3. Gravedad específica de los suelos (Picnómetro).....	52
4.2.4. Ensayo para determinar la densidad de los suelos en el campo por el método del cono de arena.....	56

4.2.5. Ensayo de densidad máxima y mínima	63
4.2.6. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada	70
4.2.7. CBR de suelos (laboratorio).....	78
4.2.8. Ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP)	99
4.2.9. Ensayo de CBR en el Terreno	104
4.2.10. Propiedades volumétricas y gravimétricas de los suelos.....	110

CAPÍTULO V

RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELOS Y LA CAPACIDAD DE SOPORTE OBTENIDOS DE DCP Y CBR

5.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	113
5.2. COMPARACIÓN DE VALORES DE CBR REPRESENTATIVO	114

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN DE CORRELACIÓN Y VERIFICACION DE RESULTADO

6.1. ANÁLISIS MATEMÁTICO DE LA CORRELACIÓN.....	118
6.2. VERIFICACION DE LA INVESTIGACION: CBR EN CAMPO - DCP	124

CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES	127
BIBLIOGRAFÍA	128
WEBGRAFÍA	130
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1. Propiedades Físicas de la Puzolana	18
TABLA 2. 2. Propiedades Químicas de la Puzolana.....	19
TABLA 2. 3. Canteras de Puzolana en el Perú por regiones.....	24
TABLA 3. 1. Puntos de estudio. Zona Cerro Colorado.....	32
TABLA 4. 1. Resultados finales de densidades – DCP.....	103
TABLA 4. 2. Cuadro de las propiedades volumétricas y gravimétricas de los suelos estudiados.....	111
TABLA 5.1 - Resumen análisis granulométrico.....	113
TABLA 5.2 - Resumen determinación del contenido de humedad de un suelo.....	113
TABLA 5.3 - Resumen de la gravedad Específica.....	114
TABLA 5.4 - Resumen de la densidad de campo.....	114
TABLA 5.5 - Resumen del ensayo de Próctor Modificado.....	114
TABLA 5.6 - Comparación de CBR	115
TABLA 6. 1. Resultados finales de densidades – DCP.....	118
TABLA 6. 2. Resumen de CBR obtenido en Laboratorio.....	119
TABLA 6.3. Resultados obtenidos con la ecuación de CBR.....	120
TABLA 6. 4. Cuadro de valores para correlación.....	121
TABLA 6. 5. Comparación de resultados obtenidos en otros estudios.....	123

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 3. 1. Plano de ubicación de la zona de estudio.....	33
FIGURA 2. 2.Plano de ubicación de la calicata 1	34
FIGURA 2. 3. Plano de ubicación de la calicata 2.....	34
FIGURA 2. 4. Plano de ubicación de la calicata 3.....	35
FIGURA 2. 5. Plano de ubicación de la calicata 4.....	36
FIGURA 2. 6. Plano de ubicación de la calicata 5.....	36
FIGURA 2. 7. Plano de ubicación de la calicata 6.....	37
FIGURA 4. 1. Esquema DCP.....	102

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO 2. 1 Canteras de puzolana en el Perú por regiones.....	25
--	----

GRAFICO 5. 1. Comparación de CBR y densidad.....	115
GRAFICO 5. 2. Conjunción de CBR	116
GRAFICO 6. 1. Relación Índice DCP / CBR.....	121
GRAFICO 6. 2. Relación índice DCP / CBR (Ecuación).....	122
GRAFICO 6. 3. Relación DCP / CBR (Comparación con otros estudios) ...	123

INDICE DE FOTOS

Fotografía 2. 1. Muestra de puzolana predominando en Cerro Colorado.....	17
Fotografía 2. 2. Terreno con presencia de puzolana – Zona Cerro Colorado.	17
Fotografía 2. 3. Puzolana Zona Cerro Colorado (PIRS).....	26



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el campo de las obras viales es un importante motor de desarrollo. Ello repercute en la importancia del estudio y mejoramiento de los ensayos que influyen en su desarrollo y proceso de ejecución. Ahora bien, existe más de un método para obtener los datos requeridos para el diseño de una vía, entre los que tenemos los ensayos en laboratorio y de campo o *in situ*. Lo que comúnmente se realiza para el estudio de los suelos son los ensayos tradicionales, que vienen a ser los de laboratorio. Ellos tienen una duración entre una y dos semanas en la obtención y procesamiento de los datos que sirven para el desarrollo del proyecto. Esto también se ve influenciado por el número de muestras que se obtienen de campo, lo que puede dilatar aun más el proceso.

Como respuesta ante este problema, se realiza el presente estudio sobre el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP, que corresponde a *Dynamic Cone Penetrometer*, su nombre en inglés), que viene a ser un instrumento muy versátil dentro de los que existen en los ensayos de campo o *in situ*. El penetrómetro es, en efecto, un instrumento que ofrece muchos beneficios, ya sea en la facilidad de su empleo o en el tiempo que requiere realizar el ensayo. Este instrumento se usa para obtener datos sobre el estudio de la capacidad de soporte del terreno o California Bearing Ratio (CBR) *in situ*, prueba que comúnmente se realiza en laboratorio y que supone un proceso relativamente largo, el mismo cuya duración, con el empleo de este penetrómetro, se reduciría.

Todo esto se observa en la presente tesis, desde el estudio del suelo

puzolánico, que es el material en que se enfoca la investigación, hasta los estudios de laboratorio que proporcionan datos para conocer las propiedades del suelo y que ayudan a la correlación entre el CBR en laboratorio y CBR hallado con ayuda del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).

El presente trabajo de investigación consta de seis capítulos.

El primero incluye el **Planteamiento Teórico de la Investigación** en el que se establece el problema, los objetivos generales y específicos, la justificación, la hipótesis y los alcances de la investigación.

En el segundo capítulo se presenta el **Marco Teórico**, con los antecedentes relacionados al tema de investigación y los fundamentos conceptuales.

El tercer capítulo aborda el **Planteamiento Operacional**, en el que se precisan las técnicas e instrumentos utilizados, el campo de verificación, las estrategias de recolección de datos y el marco metodológico.

En el cuarto capítulo se presentan el **Estudio de Suelos**, y se incluyen los ensayos en laboratorio y campo, con los resultados y gráficas que se obtuvieron en la investigación.

En el quinto capítulo se presentan los **Resultados del Estudio de Suelos** y la capacidad de soporte obtenidos de DCP y CBR.

En el sexto capítulo se aborda el **Análisis de las Ecuaciones de Correlación**.

Finalmente, se incluyen las conclusiones a las que se arribaron y las recomendaciones de acuerdo con lo encontrado en la investigación, y se refieren la bibliografía, la webgrafía y los anexos.

CAPÍTULO I



1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción

En la última década, el sector de la construcción se ha incrementado y en mayor predominancia el sector de obras viales por ser un eje de desarrollo para las poblaciones que requieren vías de comunicación en condiciones adecuadas por las que puedan transitar, comercializar sus productos, propiciar el intercambio cultural, etc.

Estas obras viales requieren estudios como los ensayos tradicionales (laboratorio) que intentan reproducir las condiciones de campo. Por otra parte, se dispone de los ensayos *in situ* que reflejan directamente la realidad, y se correlacionan con los de laboratorio. Es por ello que los ensayos *in situ* son prácticos en su uso y en el tiempo que se requiere para su realización, lo cual ha conllevado a una revisión de las investigaciones regionales en las que se observa una ausencia de estudios que contribuyan a la obtención de resultados mediante los ensayos *in situ*, como, por ejemplo, la capacidad de carga del terreno de fundación para obras viales, dato fundamental cuando se desea realizar obras de pavimentación, en las fases de Pre-inversión, Inversión y Post-inversión, como lo establece el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP).

En muchos proyectos viales, para el diseño de los pavimentos se requiere un dato indispensable, que es la capacidad de carga de la subrasante o del terreno denominada California Bearing Ratio (CBR), la cual se ajusta a las recomendaciones de las normas nacionales e internacionales. Este

índice se puede obtener en laboratorio mediante las normas establecidas o *in situ*, mediante el ensayo de penetración dinámica.

Debido a la cantidad de muestras que se obtiene en el trabajo de campo, los ensayos de laboratorio llegan a abarcar mucho tiempo para la obtención de resultados del CBR, por lo cual se hace de prioridad implementar ensayos alternativos que den como resultado el CBR del terreno. Uno de esos estudios es el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP), el cual nos proporciona datos de campo que, mediante una correlación establecida mediante estudios estadísticos, darán como resultado un CBR muy aproximado al de laboratorio.

1.1.2. Enunciado

Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la capacidad de soporte del terreno en suelos puzolánicos en la zona de Cerro Colorado - Arequipa, con ayuda de un Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar estudios de campo con el fin de obtener datos que ayuden a la investigación.
- Realizar los ensayos de laboratorio correspondientes para obtener datos de las propiedades de los suelos puzolánicos.
- Obtener datos sobre la capacidad de soporte del terreno de suelos puzolánicos mediante estudios de CBR en laboratorio y mediante el DCP.
- Realizar un cuadro comparativo con respecto a los estudios CBR en laboratorio e *in situ*.
- Realizar un análisis matemático de correlación entre el CBR en laboratorio e *in situ*.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La razón por la que se ha elegido el presente tema de investigación sobre la capacidad de soporte de los suelos puzolánicos en el distrito de Cerro Colorado es contribuir a la mejora de los ensayos que se requieren para la formulación y estudio de los proyectos viales; por ello es que, siendo el CBR un ensayo fundamental para todo proyecto, se apreció la importancia de realizar el estudio de un ensayo alternativo que sea veraz, de fácil utilización y que suponga un empleo de menor tiempo que el ensayo del CBR en laboratorio, ventajas estas que justifican el estudio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General y Específica

Hipótesis General

El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) dará como resultado, valores para correlacionar y poder hallar la capacidad de soporte o de carga del suelo.

Hipótesis Específica

Con el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) se establecerá una relación entre la penetración dinámica y la capacidad de soporte de los suelos puzolánicos de Arequipa.

1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

- La investigación tendrá en cuenta la correlación entre los ensayos de CBR en laboratorio y Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).
- Los estudios a realizarse servirán para su empleo en los suelos puzolánicos de Arequipa.
- Los resultados obtenidos tendrán un campo de aplicación para la ciudad de Arequipa y donde se encuentren suelos puzolánicos.

CAPÍTULO II



2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En muchos países, el Penetrómetro Dinámico de Cono o *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) ya es usado de manera continua, por lo que existen diferentes estudios al respecto. La presente tesis sobre la evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) en suelos puzolánicos en la zona de Cerro Colorado – Arequipa es antecedida por otros estudios como:

Estudio: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica.

Autores: Carlos A. Tupia Córdova
Jorge E. Alva Hurtado

Presentación: XI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, del 11 al 16 de noviembre de 2001.

Resumen:

Para determinar las características del terreno de un proyecto vial, se programa la ejecución de sondeos exploratorios a una distancia variable entre 250 m y 3 km. Esta distancia responde, en la mayoría de los casos, más a una exigencia de los términos de referencia del proyecto que a las condiciones específicas del subsuelo. Debido a lo anterior, aparecen en el estudio zonas no evaluadas que pueden presentar problemas locales.

En la exploración de campo existe la posibilidad de encontrar suelos con humedad elevada, suelos saturados o suelos secos en la que es muy

remota la saturación. Los suelos que contienen grava deben modificarse en su granulometría para cumplir con las normas de ensayo de laboratorio. En algunos casos, se toman muestras inalteradas en moldes de CBR para ser ensayadas en el laboratorio, las cuales pueden golpearse durante su extracción. Por los motivos anteriores, ha tenido acogida desde hace algunos años el Penetrómetro Dinámico de Cono.

El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) fue desarrollado en Sudáfrica (Van Vuuren, 1969) en un esfuerzo por estimar en forma simple la capacidad de soporte *in situ* de los materiales de subrasante y capas que conforman el pavimento. Los resultados obtenidos con el PDC fueron correlacionados con parámetros de resistencia, tales como la Capacidad de Soporte de California y la Compresión Simple. En el Perú, García y Gutiérrez (1987) introdujeron este equipo en los estudios del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

La investigación que se reporta se realizó en el Laboratorio Geotécnico del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) sobre suelos de diferentes carreteras del territorio nacional, siguiendo los modelos matemáticos existentes y proporcionando relaciones aplicables al Perú para determinar valores de CBR en base a los ensayos de PDC. Los resultados de la investigación permitieron establecer parámetros locales para la relación de penetración con la capacidad de soporte mediante un equipo de bajo costo que ofrece al proyectista la alternativa de complementación de ensayos *in situ* y la comparación de las condiciones del terreno con las de laboratorio.

Conclusión

Determinar la capacidad de soporte del terreno de fundación de un pavimento es importante y requiere de mucha atención, porque se puede subdimensionar o sobredimensionar la estructura del mismo. Por tal motivo, es necesario realizar la mayor cantidad de ensayos que permitan identificar los suelos y cuantificar la capacidad de soporte del subsuelo.

El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) es un instrumento liviano que puede ser utilizado para obtener información geotécnica para el diseño y evaluación de pavimentos, en forma rápida, confiable y económica. Se ha desarrollado una correlación para los suelos del Perú.

Se han descrito proyectos en los que se utilizó el equipo de PDC sobre suelos finos no gravosos. Estos resultados deben considerarse siempre y cuando el suelo presente humedad mayor de 7% é índice de penetración (DN) en un intervalo de 8 a 50 mm/golp. Los ensayos de PDC deben cubrir el tramo en estudio con una cantidad suficiente de puntos. Los valores del índice de penetración menores de 8 mm/golp señalan que el suelo contiene ligera humedad o presenta partículas mayores de 3/4".

Para suelos que no se saturan en el campo y aquellos que tienen un alto contenido de humedad, se debe determinar el CBR directamente mediante el ensayo PDC o CBR *in situ*, ya que el ensayo de laboratorio no reflejará las condiciones reales del suelo.

Las características de resistencia de los suelos naturales a diferentes profundidades en un mismo sondaje se pueden lograr con el equipo de PDC (lo cual no sucede con los ensayos realizados en los proyectos

convencionales), de lo que resulta un menor costo y menor tiempo en la obtención de los resultados de campo.

Los resultados de CBR de laboratorio obedecen, más que a un valor exacto, a un valor estadístico dentro de una serie de ensayos del suelo en análisis; por eso, el utilizar el equipo de Penetración Dinámica de Cono no significa dejar de realizar los ensayos de CBR en laboratorio, sino que permiten obtener mayor información de la capacidad de soporte del suelo. La determinación de una correlación entre PDC y CBR para los suelos de la ciudad de Lima ofrece mayor confianza que las correlaciones obtenidas en otros países y establece información para futuros proyectos. Las comparaciones que se realizaron en los pavimentos de las provincias de Huacho, Barranca y Huancavelica certificaron la utilidad de la correlación obtenida en el presente trabajo.

Estudio: El Cono Dinámico de Penetración y su aplicación en la evaluación de suelos.

Autora: Fabiana Viscarra Agreda

Título: Msc. Licenciado en Ingeniería Civil

Universidad: Universidad Privada Boliviana – Bolivia

Resumen

La presente investigación incursiona en la aplicación del Cono Dinámico de Penetración (DCP), una herramienta cuyo estudio y aplicación se viene desarrollando desde 1959. El DCP se ha constituido en un instrumento de uso práctico y económico para la evaluación de terraplenes conformados

y paquetes estructurales existentes. En este trabajo, se desarrolló una metodología para realizar ensayos de DCP en laboratorio, utilizando diferentes tipos de suelos locales representativos para la conformación de terraplenes. Las variables del estudio son los valores de CBR, DCP, contenido de humedad y peso específico seco; estos dos últimos presentaron gran influencia durante el desarrollo de pruebas de DCP.

Finalmente, se ratifica la gran variabilidad que presenta el ensayo de CBR y la dificultad en el momento de interpretar sus resultados. Estas patologías desembocan en una serie de dudas, hasta llegar a cuestionarse acerca del grado de confiabilidad de este tipo de ensayo, cuyo valor recae directamente en el dimensionamiento de espesores en pavimentos.

Conclusiones

Se estableció la existencia de una correlación significativa entre el valor de CBR y el número DCP. Asimismo, se determinó una expresión que relaciona el valor de soporte CBR obtenido en laboratorio y el número DCP.

Se ha demostrado, a través de los estudios, la gran sensibilidad que este instrumento presenta y la confiabilidad de sus resultados, lo que hace del DCP un instrumento ideal para evaluar el grado de compactación y la homogeneidad del material en estudio, pues permite la localización con gran facilidad de puntos débiles en el paquete estructural y por ende la

justificación de posibles fallas de un pavimento o de un mal relleno compactado en zanjas, terraplenes, etc.

Se distinguió la influencia de ciertas características inherentes al estudio, como el contenido de humedad y el peso específico seco, determinándose expresiones para predecir el contenido de humedad óptimo y el peso específico máximo de un suelo. Los resultados se presentaron en forma de ecuaciones, tablas y gráficos de fácil aplicación.

El trabajo presentado no pretende reemplazar el estudio tradicional en campo o los ensayos CBR. No obstante, es una contribución que afirma la consideración del DCP como un ensayo complementario para verificar las condiciones reales de un suelo. Por ello, durante la obtención del CBR de diseño para una subrasante natural, valor primordial en el que recae la determinación de espesores de un pavimento flexible, la utilización del instrumento DCP puede servir de guía en la interpretación de curvas de CBR.

Estudio: Potential Applications of Dynamic and Static Cone Penetrometers in MDOT Pavement Design and Construction.

Autora: Farshad Amini

Universidad: Department of Civil Engineering - Jackson State University
- Mississippi.

Resumen

Este informe analiza las aplicaciones actuales de los penetrómetros de cono dinámicos y estáticos en el diseño de pavimento y construcción. El

Penetrómetro de Cono Dinámico (DCP) es el más instrumento versátil y rápido en la evaluación *in situ* disponible actualmente. Sus correlaciones con el CBR, su resistencia a la compresión no confinada, módulo elástico y de corte, y su uso en la evaluación del desempeño de las capas del pavimento lo convierten en una atractiva alternativa a los procedimientos que consumen tiempo y que son más caros. Muchas correlaciones útiles entre el índice de penetración DCP y otras propiedades del material siguen en estudio.

Otras posibles aplicaciones del DCP, tales como su uso en el control de calidad de la compactación de relleno, son discutidas. Además, se reportan ventajas y desventajas de la prueba de penetrómetro. El Penetrómetro de Cono Estático tiene también varias aplicaciones en áreas tales como la evaluación del módulo resiliente de suelos cohesivos, la estimación del CBR y la determinación de la densidad relativa de las arenas. De este modo, tenemos una visión general de las prácticas actuales, así como áreas de posibles tendencias futuras.

Conclusiones

El objetivo principal de este estudio era examinar las diversas aplicaciones de la penetrómetros de cono dinámicos y estáticos, y sugerir posibles áreas de investigación necesaria sobre la aplicabilidad de los penetrómetros en el diseño MDOT y esquemas de construcción. El DCP es una herramienta de evaluación muy versátil en el diseño de pavimento y la construcción. Algunas de las principales ventajas del DCP son:

- Tiene una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo estimaciones de CBR y módulo de resiliencia, resistencia a la compresión no

confinada, y resistencia a la cizalladura, así como su uso en la evaluación del desempeño de las capas de pavimento. Otra aplicación potencial del DCP incluye su uso en el control de calidad de compactación granular de la capa base.

- El DCP es rápido y económico.
- Las evaluaciones DCP y el análisis de los resultados pueden llevarse a cabo por parte de personal con una formación limitada.

Entre las principales desventajas del DCP se encuentran las siguientes:

- Existe gran variabilidad sobre todo en las partículas grandes y bien graduadas de material granular.
- El uso de DCP para materiales con un tamaño máximo de agregado mayor a dos pulgadas es cuestionable.
- Algunas de las relaciones de fuerza existentes son solamente aplicables a determinados materiales, tipos y condiciones.

El empleo del Penetrómetro de Cono Estático es un método rápido, fiable, repetible y de bajo costo de procedimiento que puede ser utilizado en una variedad de aplicaciones, incluyendo la evaluación de los módulos resilientes de suelos cohesivos, la estimación del CBR y la determinación de la relación densidad de las arenas. Sus ventajas y desventajas se han descrito en las líneas anteriores.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 Suelos puzolánicos

2.2.1.1 Definición

“Puzolana es el nombre que recibe la ceniza volcánica que proviene de la población de Puzzuoli, en las faldas del Vesubio, donde esta roca ya era explotada en tiempos de los romanos. Posteriormente el término fue extendiéndose a todos aquellos materiales que, por sus propiedades similares a la puzolana de origen natural, podían tener usos sustitutivos.

Se incluyen bajo este nombre productos bastante diferentes en cuanto a su origen, estructura, composición química y mineralógica, que tienen en común lo que se denomina «actividad puzolánica». Por ejemplo, en el caso de los cementos, se refiere al ataque lento de la sílice y de la alúmina en disolución dentro de las puzolanas por parte de la portlandita formada *in situ* cuando se hidratan los componentes del clinker.

Proceden de fragmentos volcánicos piroclásticos, y su composición puede ser riolítica, traquítica, andesítica o basáltica. Otras son brotes de rocas sedimentarias descompuestas, de composición sílico-alumínica. Las puzolanas son sustancias que contienen minerales silíceos y aluminosos que, si bien no tienen por sí mismos cualidades cementantes, son capaces de reaccionar con el hidróxido cálcico (activador) en presencia del agua a temperaturas ordinarias para formar compuestos cementantes, capaces de desarrollar resistencia por endurecimiento hidráulico.” (DÍAZ, 2009)

“Puzolanas son aquellos materiales sílico o sílico-aluminosos, los cuales por sí solos poseen poco o nulo valor cementante, pero finalmente divididos y en presencia de humedad reaccionan químicamente con portlandita (hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) a temperatura ordinaria para formar compuestos con propiedades cementantes.” (NORMA ASTM 618)

“Se consideran generalmente como puzolanas los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de la actividad hidráulica, por sí solos contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias, y, en presencia de agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. En tal sentido, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal.

La reactividad de las puzolanas se atribuye fundamentalmente, en algunos casos, a la sílice activa que se encuentra en ellas formando compuestos mineralógicos silíceos.

Estas puzolanas tratadas, aunque son naturales por origen, se pueden considerar como artificiales por causa del procesamiento que reciben. Podrían denominarse puzolanas mixtas o intermedias, por participar de los caracteres tanto de las naturales como de las artificiales.” (SALAZAR, 2009)



Fotografía 2.1 – Muestra de puzolana predominante en Cerro Colorado



Fotografía 2.2 - Terreno con presencia de puzolana – zona Cerro Colorado

2.2.1.2 Propiedades de la Puzolana

2.2.1.2.1 Propiedades Físicas

Tabla 2.1 - Propiedades Físicas de la Puzolana

PH	7
Punto de fusión	800-900°C
Punto de Inflamabilidad	No inflamable
Aspecto físico	Sólido
Forma	Granulado o en rocas
Colores	Rojizo-rosado o negro
Solubilidad en agua	Insoluble

Fuente: www.puzolana.com.ar

2.2.1.2.2 Composición Química

De los resultados de los análisis químicos podemos concluir que las puzolanas tienen un porcentaje de sílice mayor al 70%, de aluminio mayor al 10%, y de fierro menor al 2%, por lo que resulta un material de buena calidad para la industria de la construcción, en especial para la fabricación de cemento puzolánico. (DÍAZ; RAMIREZ, 2010)

Tabla 2.2 - Propiedades Químicas de la Puzolana

Análisis Químico de la Puzolana (%)	
Sílice	71.2
Aluminio	13.9
Fierro	1.9
MgO	0.37
CaO	1.43
Na ₂ O	4.18
K ₂ O	3.88
Ti ₂ O	0.24
P ₂ O ₅	0.06
MnO	0.07
Cr ₂ O ₃	0.03

Fuente: DÍAZ VALDIVIEZO, Alejandra; RAMÍREZ CARRIÓN, José - 2010

2.2.1.3. Principales usos y aplicaciones

La puzolana es un material silicoso o silico-aluminoso que puede tener poca o ninguna actividad hidráulica, pero que, al ser dividido y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas. La puzolana es utilizada en los siguientes subsectores de la economía: (DÍAZ; RAMIREZ, 2010)

- En construcción: Industria del cemento puzolánico, Concretos, Concreto compactado con rodillo, Áridos ligeros

- Agrícola: Aislante térmico, Filtros naturales, Instalaciones deportivas, Jardinería.

2.2.1.4. Clasificación de la puzolana

Las puzolanas se suelen clasificar en naturales y artificiales.

2.2.1.4.1. Puzolanas naturales

Proceden de las rocas eruptivas volcánicas como riolitas, traquitas, andesitas y basaltos, entre otras, que, en forma de cenizas o escorias, han adquirido caracteres de una roca deleznable.

Las puzolanas naturales constan fundamentalmente de una masa vítrea que cementa fragmentos de pómez, escorias, pequeños cristales de augita, mica, piroxenos, etc. Se producen por un enfriamiento brusco de la lava. Se clasifican en básicas, si contienen entre 40 y 55% de SiO_2 ; neutras, de un 55 a un 65%; y ácidas, de 65 a 70%.

Las rocas intrusivas modificadas también pueden adquirir por alteración la condición de puzolanas. Asimismo, rocas sedimentarias como lutitas, dolomitas, etc., con importantes concentraciones de Al-Si, pueden responder a la denominación de puzolanas. (DÍAZ; RAMIREZ, 2010)

2.2.1.4.2. Puzolanas artificiales

Las puzolanas artificiales se forman de distintas maneras.

- **Cenizas volantes:** Las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.
- **Arcillas activadas o calcinadas artificialmente:** Se obtienen al calentar las arcillas, pizarras y al enfriarlas rápidamente. Al calcinar las arcillas, se deshidrata la caolinita (silicato aluminico hidratado) y se obtiene un anhídrido con una pequeña proporción en la relación sílice/alúmina que, al amasarlo con la cal, da silicato monocálcico y aluminatos.
- **Escorias de fundición:** Proviene principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
- **Cenizas de residuos agrícolas:** En particular, nos referimos a la ceniza de cascarilla de arroz y a la ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemadas convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión. (DÍAZ; RAMIREZ, 2010)

2.2.1.5. Puzolana en el Perú

Los principales afloramientos de las puzolanas se encuentran en el sur del Perú, en los siguientes departamentos:

- *Departamento de Ayacucho*

En el departamento de Ayacucho encontramos una serie sedimentaria que tiene el estrato de toba dacítica de posibles propiedades puzolánicas. La formación de toba dacítica tiene estrecha relación genética y litológica con las explosiones efusivas de los volcanes vecinos al lago que conformaba la cuenca Ayacucho.

Litológicamente corresponde a una toba de naturaleza dacítica de color rosado claro o blanco.

- *Departamento de Arequipa*

En el departamento de Arequipa se encuentran afloramientos de puzolana en los volcánicos Sencca.

Por lo general, son compactos con una cohesión apreciable, aunque hay algunos poco consistentes y fácilmente desmenuzables. Se puede observar dos niveles según el color: uno superior rosado a marrón rojizo y otro inferior gris claro a blanco, con una intercalación de grava y arena.

El grosor del volcánico Sencca pasa los 150 m, aunque existen bancos aislados de espesores reducidos que no superan los 10 m.

El volcánico Sencca se subdivide en cuatro miembros.

- Miembro Capua.
- Miembro Calera.
- Miembro Añashuayco.
- Miembro Huayco.

Descripción de los principales yacimientos

- Lagunillas y Pacaycasa (Flor de María)

El yacimiento denominado Flor de María se ubica a 9 km al norte de Ayacucho en Lagunillas-Pacaycasa, en Huanta, dentro de la serie sedimentaria de areniscas, arcillas y limolitas tobáceas.

- Atocongo

Se ubica en Pachacamac-Lima, en rocas intrusivas, dentro de un pórfido dacítico de la Edad Terciaria, que incluyen rocas andesíticas que fueron originadas por alteración supérgena de dicho pórfido.

El material puzolánico principal se encuentra dentro de una chimenea volcánica relacionada con la intrusión, y la puzolana de calidad inferior se encuentra dentro del pórfido dacítico.

- Cerro Colorado y Pachacútec

En este sector se describen puzolanas en rocas del Grupo Yura, del Cretáceo inferior, así como en tobas dacíticas de la Edad Terciaria.

Oferta potencial

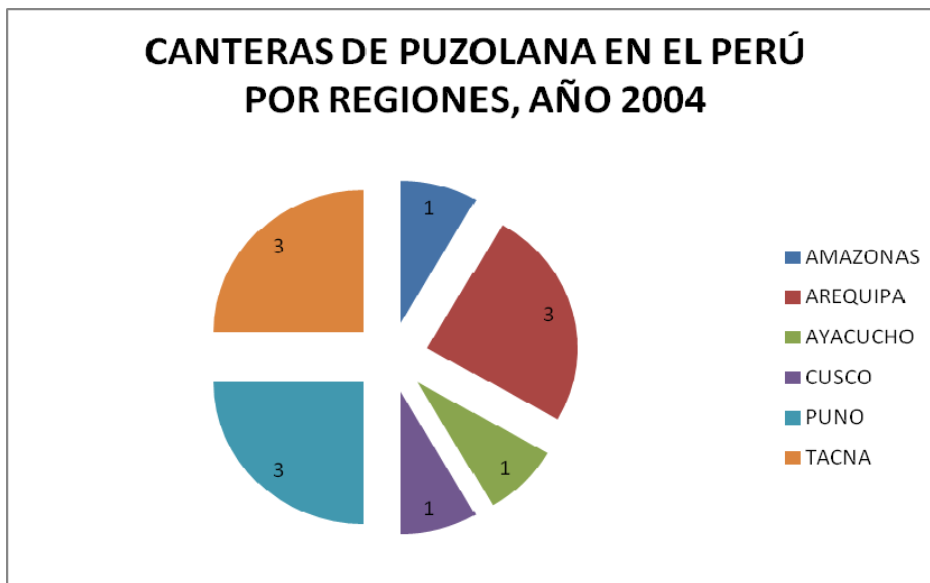
De acuerdo con la información del Ministerio de Energía y Minas, INGEMMET y otras instituciones, existen doce canteras de puzolana en seis regiones del país, de los cuales Arequipa, Puno y Tacna son las regiones que poseen fábricas de cemento y actividad minera. (DÍAZ; RAMIREZ, 2010)

Tabla 2.3 - Canteras de Puzolana en el Perú por regiones

CANTERAS DE PUZOLANA EN EL PERÚ POR REGIONES, AÑO 2004	
REGIÓN	Nº DE CANTERAS
AMAZONAS	1
AREQUIPA	3
AYACUCHO	1
CUSCO	1
PUNO	3
TACNA	3
TOTAL	12

Fuente: DÍAZ VALDIVIEZO, Alejandra; RAMÍREZ CARRIÓN, José (2010).

Gráfico 2.1 - Canteras de Puzolana en el Perú por regiones



Fuente: *DÍAZ VALDIVIEZO, Alejandra; RAMÍREZ CARRIÓN, José (2010).*

Producción

La producción peruana de puzolana experimentó un crecimiento promedio anual del 84% y su desarrollo está estrechamente ligado a la industria del cemento. Las tres regiones que más destacaron en la producción son aquellas que tienen fábricas de cemento en las que se requiere la puzolana. En el 2006, dichas regiones fueron Amazonas (75%), Arequipa (16%) y Puno (7%). (*DÍAZ; RAMIREZ, 2010*)



Fotografía 2.3 – Puzolana zona Cerro Colorado (PIRS)

2.2.1.5.1. Puzolana en Arequipa

Características

La cantera de puzolana se encuentra al noroeste de la ciudad de Arequipa, cubriendo varios kilómetros cuadrados de área. Corresponde a una toba riolítica de color rosado, con cristales de cuarzo, feldespatos y, como inclusiones, fragmentos de andesitas en una matriz fina, de textura terrosa, poco coherentes, disgregables fácilmente con la mano. Litológicamente pertenece al miembro Añashuayco del volcánico Sencca. (DÍAZ; RAMIREZ, 2010)

Potencial estimado

Las dimensiones que se consideraron para estimar el potencial y la cantidad de puzolana en el volcánico Sencca se indican a continuación: (DÍAZ; RAMIREZ, 2010)

- Potencia medida: 8 m
- Área aprovechable estimada: 250 760 800 m²
- Volumen total: 2 006 086 400 m³
- Densidad: 0,98



CAPÍTULO III



3. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

3.1. TÉCNICA E INSTRUMENTO

3.1.1. Técnica

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de fichas de ensayos, que se aplicó a cada una de las muestras representativas de suelo puzolánico del distrito de Cerro Colorado.

3.1.2. Instrumento

Para el desarrollo de los ensayos se utilizaron formatos estructurados, de acuerdo con los requerimientos de cada uno de los ensayos.

3.2. CAMPO DE VERIFICACIÓN

3.2.1. Ámbito de localización

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa.

3.2.2. Unidades de estudio

Respecto a las unidades de estudio, se consideró a los suelos puzolánicos del distrito de Cerro Colorado.

3.2.2.1. Población

Estuvo constituida por los suelos puzolánicos del distrito de Cerro Colorado.

3.2.2.2. Muestra

Por tratarse de una zona de gran extensión, se tomaron muestras representativas en seis puntos ubicados en la zona central del distrito de Cerro Colorado.

3.3. ESTRATEGIAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Criterios y procedimientos

- Elaboración de los formatos para el estudio y ensayos de los suelos.
- Ubicación de la zona de estudio mediante la visita y ubicación en un plano del distrito.
- Muestreo del suelo puzolánico en las zonas ya determinadas.
- Realización de los ensayos a cada uno de los suelos en estudio.

3.3.2. Procesamiento de la información

- Tabulación de la información.
- Procesamiento estadístico de los resultados, con el programa informático Excel.
- Análisis e interpretación de los resultados.
- Elaboración de conclusiones y sugerencias.
- Preparación del informe final.

3.4. MARCO METODOLÓGICO

La investigación consistió en dar énfasis al uso que se le da al DCP, por lo que en los trabajos de campo se priorizó este ensayo, posteriormente como verificación se realizó el ensayo de CBR en Campo; obviamente sin dejar de lado las demás pruebas. A continuación, se hace un breve recuento de toda la cronología de la investigación.

3.4.1. Recopilación de datos

Desde la aceptación del Plan de Tesis se procedió a recoger datos sobre los temas que aborda el estudio: datos teóricos, estadísticos y demás elementos informativos importantes para la investigación.

La recopilación de los mismos se dio mediante investigación bibliográfica y ensayos de campo y laboratorio, con ayuda de los instrumentos que son los formatos de ensayo.

3.4.2. Investigación de campo

Para la investigación de campo se realizaron los estudios y ensayos *in situ*, como el cono de arena y Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).

Los puntos de estudio ya referidos son seis, ubicados en la zona del parque industrial Río Seco, Pachacutec, Variante de Uchumayo, Autopista Arequipa - La Joya, los que se detallan a continuación:

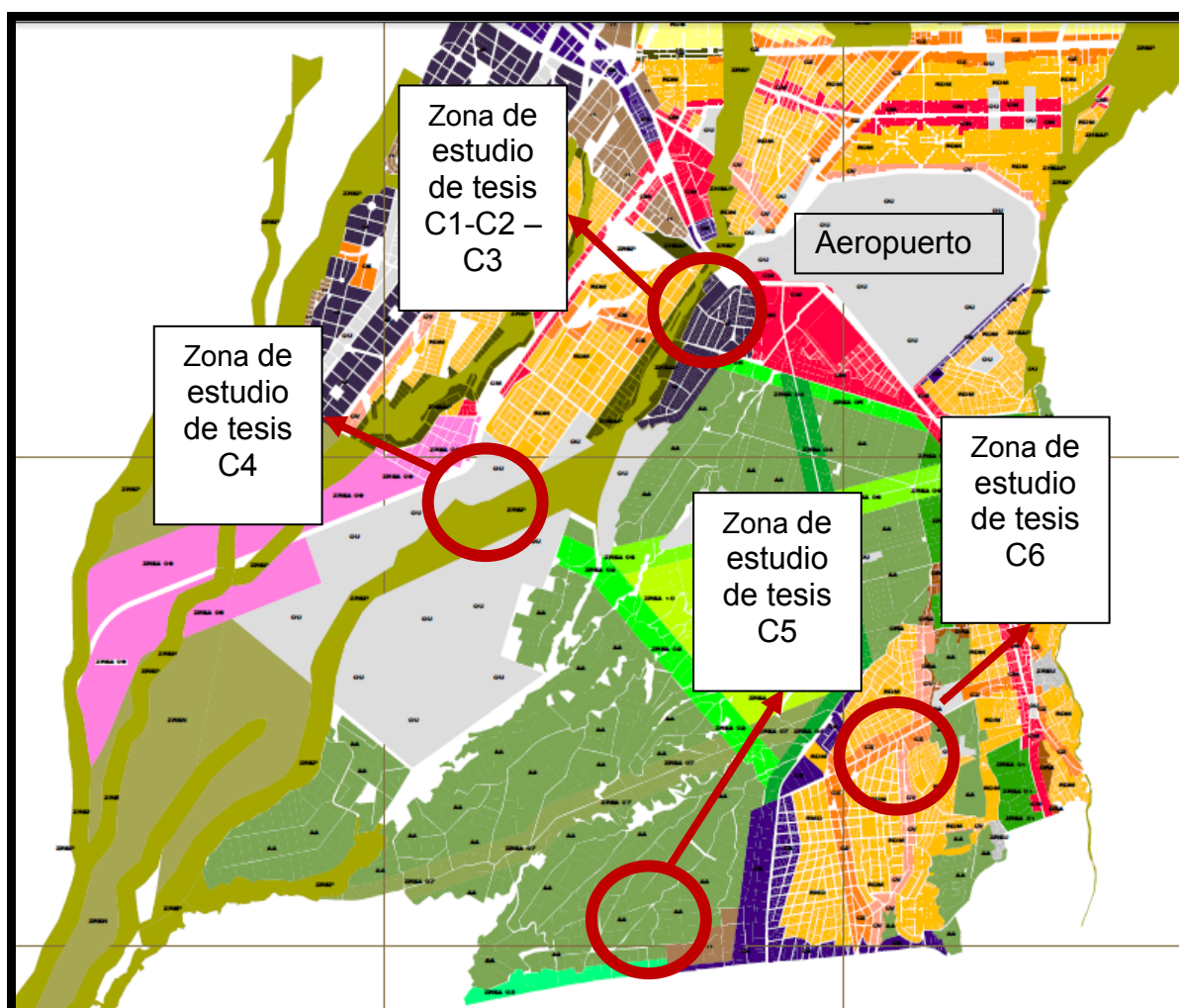
Tabla 3.1 – Puntos de Estudio, Zona Cerro Colorado

CALICATA	PROFUNDIDAD	UBICACIÓN
CALICATA 1	0.60 m	Calle Perú - Asociación de Propietarios de Talleres de Servicios y Vivienda de Arequipa (APTASA) – Cerro Colorado
CALICATA 2	0.60 m	Parque Industrial Río Seco (PIRS) – Cerro Colorado
CALICATA 3	0.60 m	Av. Aviación – Cono Norte (APTASA)
CALICATA 4	0.60 m	Autopista Arequipa - Joya
CALICATA 5	0.60 m	Variante de Uchumayo
CALICATA 6	0.60 m	Pachacutec (Calle Los Incas – Perú)

3.4.2.1 Ubicación

El estudio se realizó en el distrito de Cerro Colorado, teniendo como zonas de investigación la Asociación de Propietarios de Talleres de Servicios y Vivienda de Arequipa (APTASA) (tres Calicatas); Pachacutec (una calicata), Variante de Uchumayo (Una Calicata), Autopista Arequipa – La Joya (una calicata).

Figura 3.1 - Plano de Ubicación de la zona de estudio

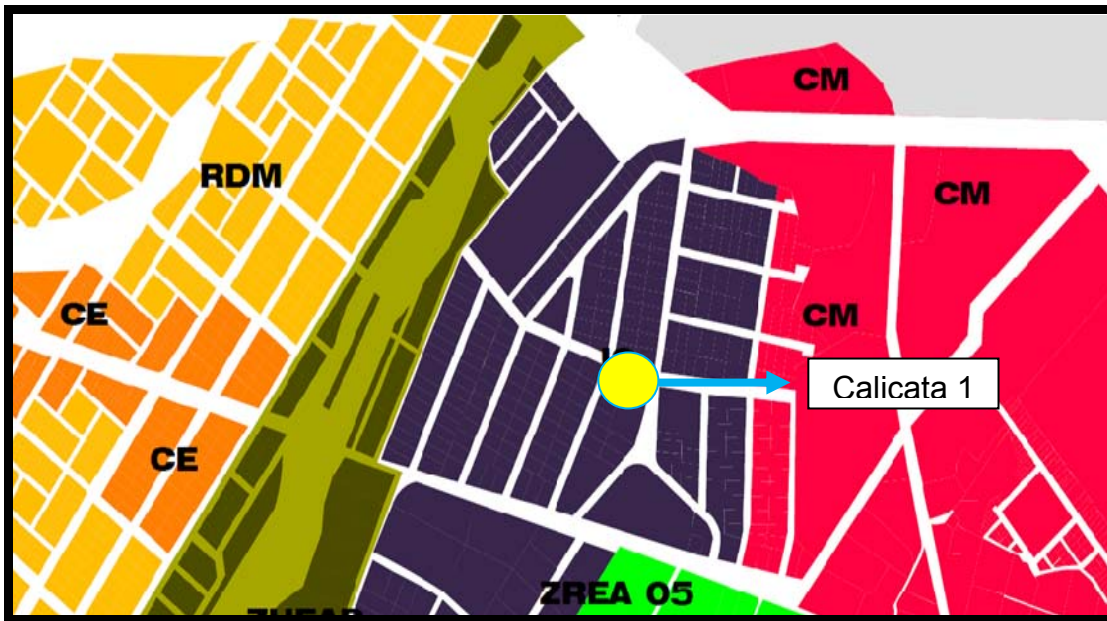


Fuente: Plan Urbano Distrital – Municipalidad de Cerro Colorado – 2011.

- **Ubicación 1**

Esta primera calicata se ubica en la Asociación de Propietarios de Talleres de Servicios y Vivienda de Arequipa (APTASA) – Calle Perú – Distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa.

Figura 3.2 - Plano de Ubicación de la calicata 1

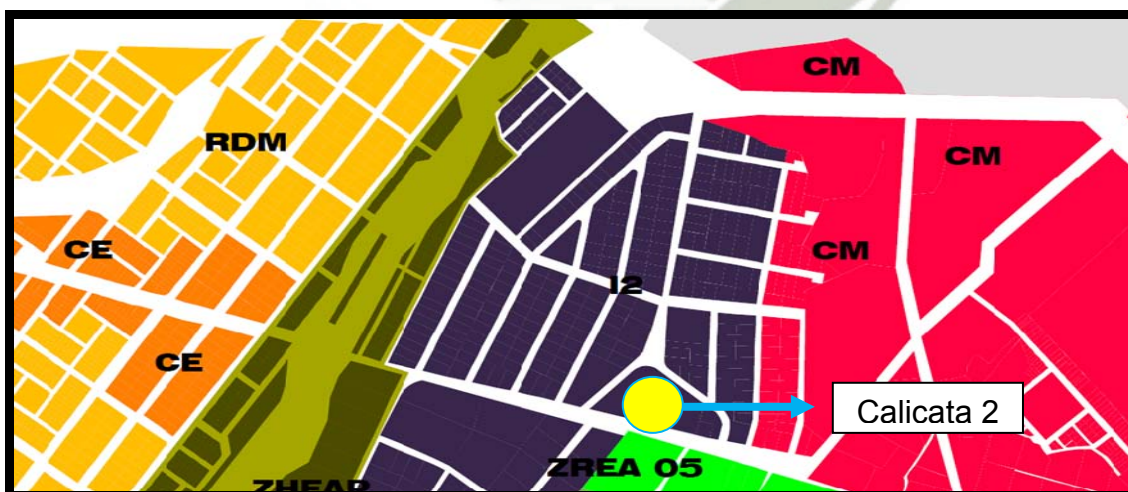


Fuente: Plan Urbano Distrital - Municipalidad de Cerro Colorado – 2011.

- **Ubicación 2**

La segunda calicata se ubica en el Parque Industrial Río Seco (PIRS) – Distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa.

Figura 3.3 - Plano de Ubicación de la calicata 2

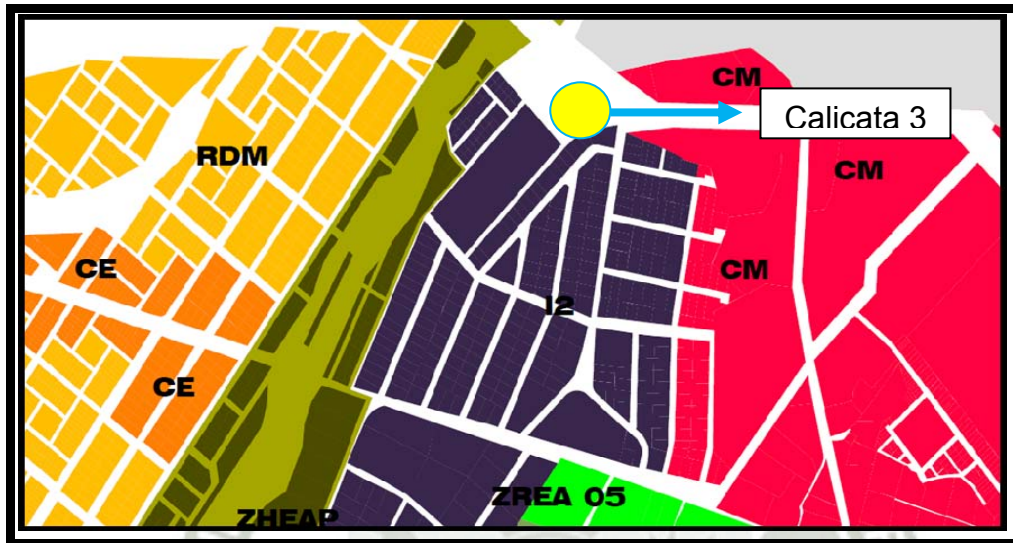


Fuente: Plan Urbano Distrital – Municipalidad de Cerro Colorado – 2011.

- **Ubicación 3**

La tercera y ultima calicata se ubica en la Av. Aviación – Cono Norte – Distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa.

Figura 3.4 - Plano de Ubicación de la calicata 3

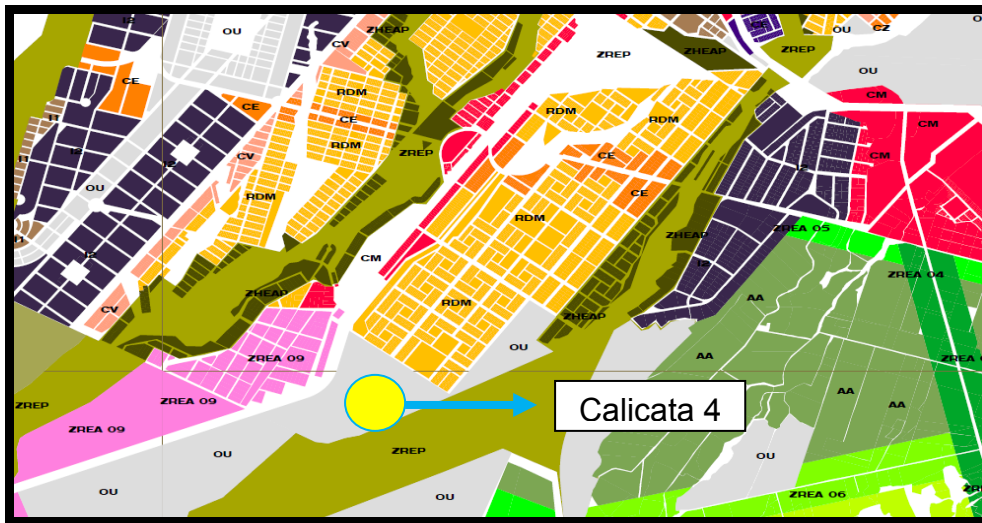


Fuente: Plan Urbano Distrital – Municipalidad de Cerro Colorado – 2011.

- **Ubicación 4**

La cuarta calicata, está ubicada en la zona aledaña a la autopista Arequipa – La Joya y la nueva construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – Distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa.

Figura 3.5 - Plano de Ubicación de la calicata 4

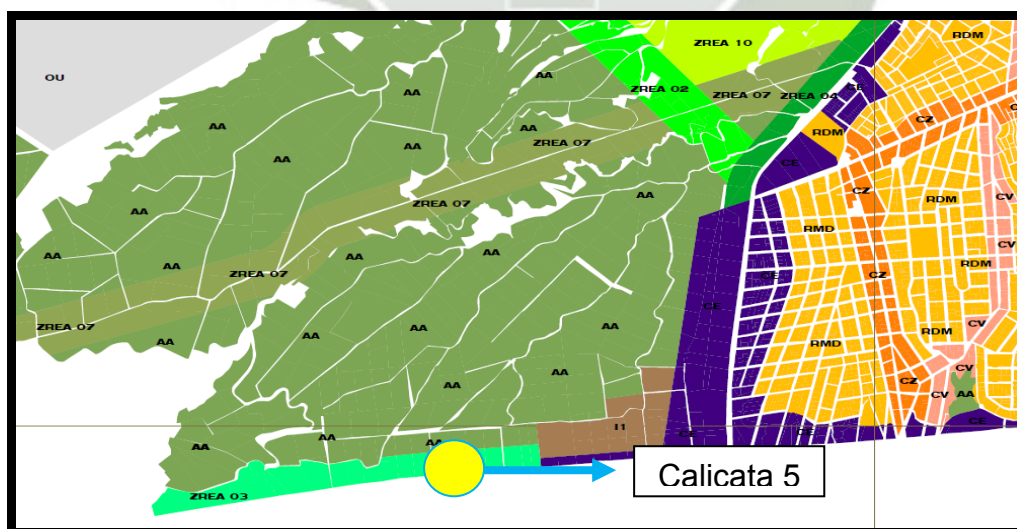


Fuente: Plan Urbano Distrital – Municipalidad de Cerro Colorado – 2011.

- **Ubicación 5**

La Quinta Calicata se encuentra en la variante de Uchumayo km 4 – Distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa.

Figura 3.6 - Plano de Ubicación de la calicata 5

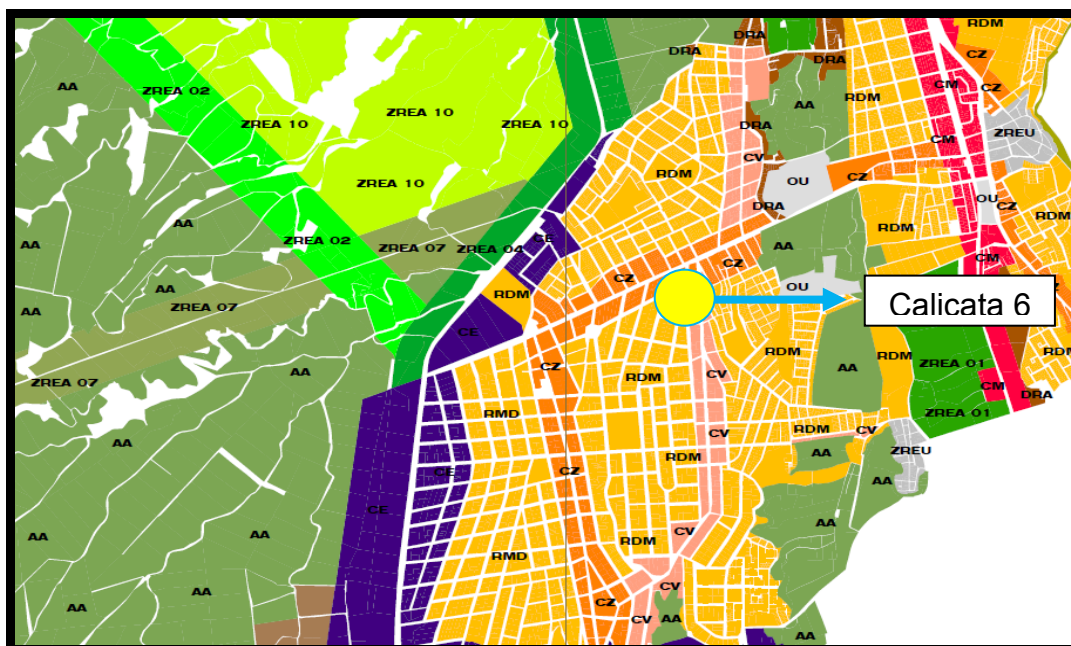


Fuente: Plan Urbano Distrital – Municipalidad de Cerro Colorado – 2011.

- **Ubicación 6**

La sexta calicata se ubica en la zona de Pachacutec entre las calles Perú y los incas – Distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa.

Figura 3.7 - Plano de Ubicación de la calicata 6



Fuente: Plan Urbano Distrital – Municipalidad de Cerro Colorado – 2011.

3.4.3. Investigación de laboratorio

La presente tesis da importancia a los ensayos de laboratorio, por ser los que brindan base al estudio. Por ello, continuando con las etapas de la investigación, y después de haber desarrollado el trabajo de campo en el que se obtuvieron muestras para ser objeto de estudio, se prosiguió con los ensayos de laboratorio que se detallan a continuación:

- Análisis granulométrico
- Contenido de humedad
- Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 Pie-Lb/Pie3) (Próctor)
- Ensayo de CBR
- Ensayo de DCP en laboratorio

Para ello, se utilizaron instrumentos que ayudaron al desarrollo de los ensayos, los cuales están señalados en cada una de las normas y que se detallan en los anexos de la investigación.

Se debe resaltar que, siendo el objeto de estudio el ensayo con el DCP, el procedimiento del mismo se detalla en un anexo de la investigación.

CAPÍTULO IV



4. ESTUDIO DE SUELOS

4.1. GENERALIDADES

Considerando que hoy en día se experimenta un crecimiento elevado en el rubro de construcción de vías y de estructuras de todo tipo, se debe tener en consideración los estudios antes, durante y después del proyecto, estudios que están regidos por instituciones técnicas reconocidas internacionalmente como AASHTO, ASTM, y, a nivel nacional, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), quienes nos presentan la normatividad para estas investigaciones mediante el Manual de Ensayos para Carreteras (EM – 2000), en el que se consideran los estudios que son primordiales para la ejecución de la presente tesis.

4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO Y CAMPO

4.2.1. Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107-2000)

Según se define en la norma técnica, este ensayo ayuda a *“determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200)”*, gracias a lo cual es posible realizar la clasificación del suelo.

La norma refiere que el material a ensayarse debe cumplir una serie de requisitos, los cuales se detallarán a continuación.

Cantidad de muestra requerida para el ensayo = 500 gr.*

*Para cuando el diámetro nominal de las partículas más grandes sea 9,5 mm ó 3/8"pulg.

Los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos granulométricos son detallados a continuación.



CALICATA 1

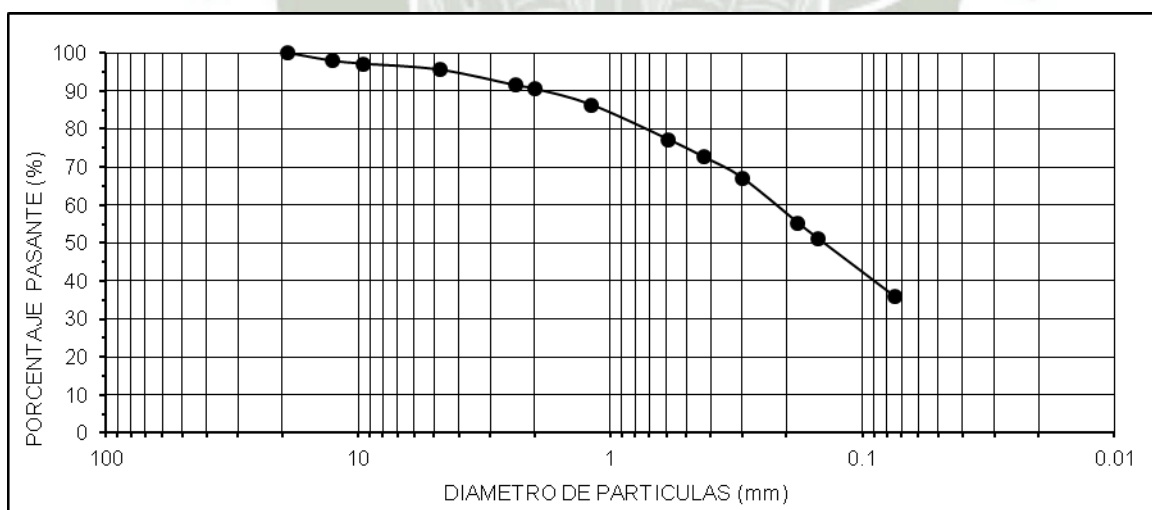
ESTUDIO DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado
CALICATA : Calicata 1 **FECHA :** 15/04/2012

TAMIZ	DIÁMETRO	W	W	% RET	% PAS. ACUM	FRACCIONES	
	O	RET+TARA	RET.			GRAVA	4.43%
3"	76.20					ARENA	59.81%
2"	50.80					FINOS	35.76%
1 1/2"	38.10					COEFICIENTES	
1"	25.40					Cu	11.01
3/4"	19.10				100.00	Cc	0.82
1/2"	12.70	49.3	10.3	2.06	97.94	CONSISTENCIA	
3/8"	9.52	43.0	4.0	0.80	97.14	L LÍQUIDO	NP
4	4.760	46.8	7.8	1.56	95.57	L PLÁSTICO	NP
8	2.380	59.4	20.4	4.08	91.49	I. PLASTICIDAD	NP
10	2.000	43.6	4.6	0.92	90.57	PASANTE	
16	1.190	60.0	21.0	4.21	86.36	TAMIZ # 40	72.59%
30	0.590	84.5	45.5	9.11	77.25	TAMIZ # 200	35.76%
40	0.425	62.3	23.3	4.67	72.59	CLASIFICACIÓN	
50	0.300	66.1	27.1	5.43	67.16	SUCS	SM
80	0.180	98.5	59.5	11.91	55.25	AASHTO	A-4
100	0.150	59.4	20.4	4.08	51.16		
200	0.074	115.9	76.9	15.40	35.76		
-200		217.6	178.6	35.76	0.00		



Fuente: Elaboración propia

CALICATA 2

ESTUDIO DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN :** Cerro Colorado
CALICATA : Calicata 2 **FECHA :** 15/04/2012

TAMIZ	DIÁMETRO	W RET+TARA	W RET.	% RET	% PAS. ACUM
3"	76.20				
2"	50.80				
1 1/2"	38.10				
1"	25.40				
3/4"	19.10				
1/2"	12.70				100.00
3/8"	9.52	45.0	3.3	0.67	99.33
4	4.760	53.6	11.9	2.38	96.96
8	2.380	62.6	20.9	4.17	92.79
10	2.000	48.7	7.0	1.40	91.39
16	1.190	63.5	21.8	4.36	87.03
30	0.590	87.7	46.0	9.17	77.86
40	0.425	64.3	22.6	4.50	73.36
50	0.300	69.7	28.0	5.59	67.77
80	0.180	106.6	64.9	12.95	54.82
100	0.150	65.7	24.0	4.80	50.02
200	0.074	116.1	74.4	14.85	35.18
-200		218.0	176.3	35.18	0.00

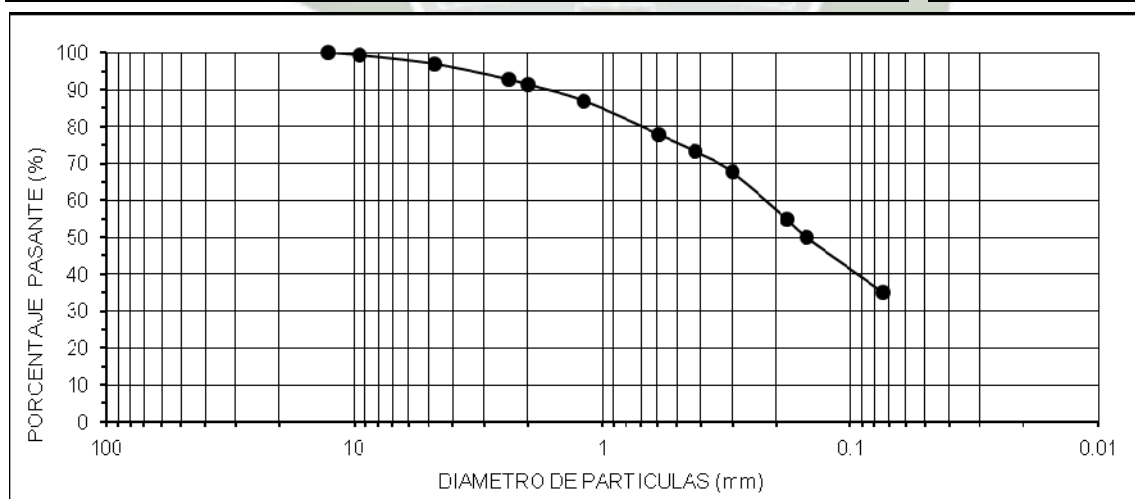
FRACCIONES	
GRAVA	3.04%
ARENA	61.78%
FINOS	35.18%

COEFICIENTES	
Cu	10.84
Cc	0.83

CONSISTENCIA	
L LÍQUIDO	NP
L PLÁSTICO	NP
I PLASTICIDAD	NP

PASANTE	
TAMIZ # 40	73.36%
TAMIZ # 200	35.18%

CLASIFICACIÓN	
SUCS	SM
AASHTO	A-4



Fuente: Elaboración propia

CALICATA 3

ESTUDIO DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado
CALICATA : Calicata 3 **FECHA :** 15/04/2012

TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	W RET+TARA (gr)	W RET. (gr)	% RET	% PAS. ACUM
3"	76.20				
2"	50.80				
1 1/2"	38.10				
1"	25.40				
3/4"	19.10				
1/2"	12.70				100.00
3/8"	9.52	41.6	3.0	0.60	99.40
4	4.760	50.0	11.4	2.28	97.12
8	2.380	59.0	20.4	4.08	93.04
10	2.000	43.8	5.2	1.04	92.00
16	1.190	59.3	20.7	4.14	87.86
30	0.590	84.0	45.4	9.08	78.77
40	0.425	62.7	24.1	4.82	73.95
50	0.300	66.0	27.4	5.48	68.47
80	0.180	96.5	57.9	11.58	56.88
100	0.150	58.4	19.8	3.96	52.92
200	0.074	115.2	76.6	15.33	37.60
-200		226.5	187.9	37.60	0.00

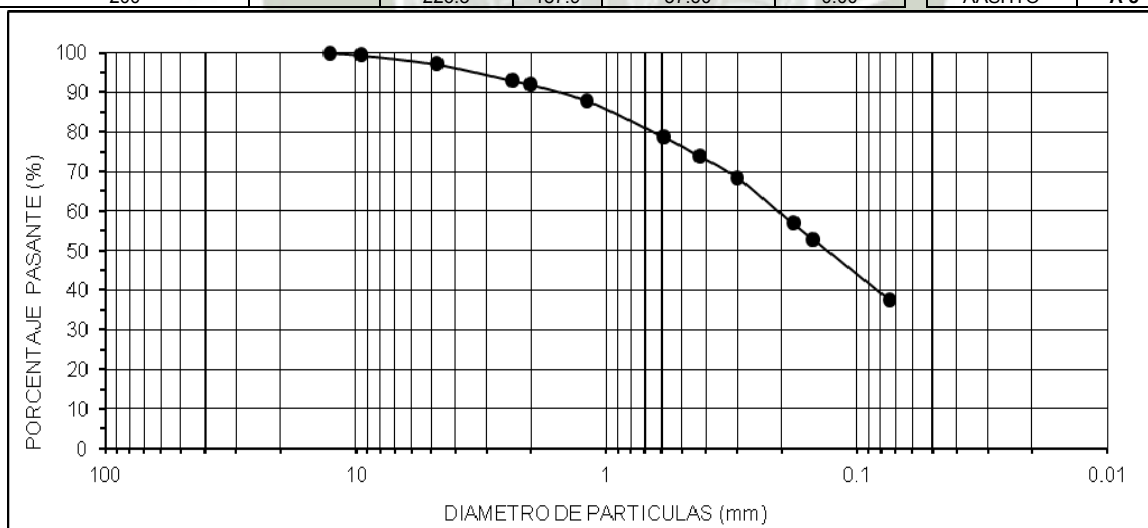
FRACCIONES	
GRAVA	2.88%
ARENA	59.52%
FINOS	37.60%

COEFICIENTES	
Cu	10.79
Cc	0.83

CONSISTENCIA	
L LÍQUIDO	NP
L PLÁSTICO	NP
PLASTICIDAD	NP

PASANTE	
TAMIZ # 40	73.95%
TAMIZ # 200	37.60%

CLASIFICACIÓN	
SUCS	SM
AASHTO	A-5



Fuente: Elaboración propia

CALICATA 4

ESTUDIO DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado
CALICATA : Calicata 4 **FECHA :** 27/11/2012

TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	W RET+TARA (gr)	W RET. (gr)	% RET	% PAS. ACUM
3"	76.20				
2"	50.80				
1 1/2"	38.10				
1"	25.40				
3/4"	19.10				
1/2"	12.70				100.00
3/8"	9.52	10.2	10.2	2.04	97.96
4	4.760	18.2	18.2	3.64	94.32
8	2.380	24.9	24.9	4.98	89.34
10	2.000	7.6	7.6	1.52	87.82
16	1.190	20.2	20.2	4.04	83.78
30	0.590	53.4	53.4	10.68	73.10
40	0.425	26.7	26.7	5.34	67.76
50	0.300	28.5	28.5	5.70	62.06
80	0.180	59.2	59.2	11.84	50.22
100	0.150	18.2	18.2	3.64	46.58
200	0.074	73.2	73.2	14.64	31.94
-200		159.7	159.7	31.94	0.00

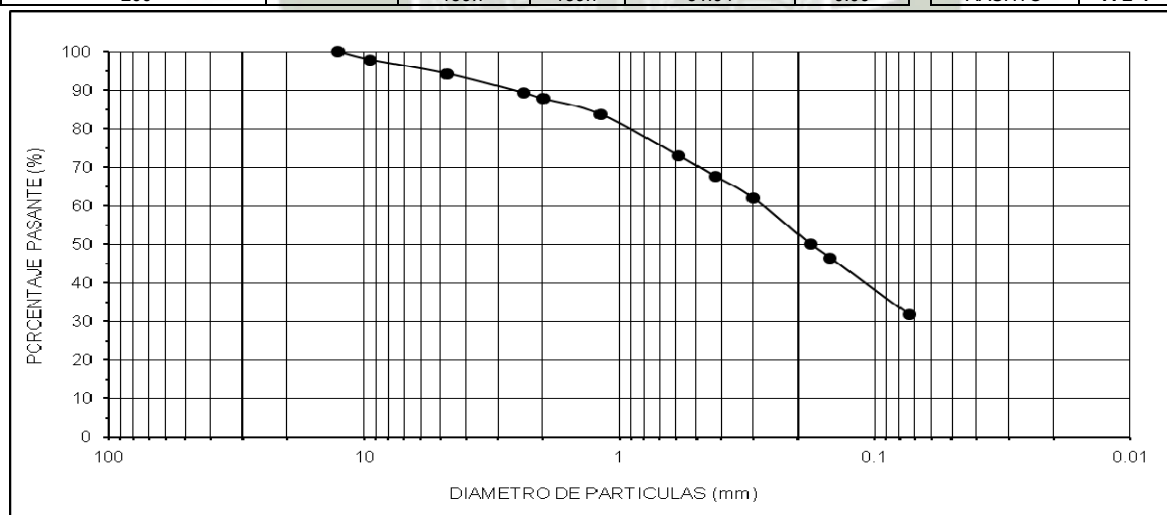
FRACCIONES	
GRAVA	5.68%
ARENA	62.38%
FINOS	31.94%

COEFICIENTES	
Cu	12.05
Cc	0.75

CONSISTENCIA	
L LIQUIDO	NP
L PLASTICO	NP
PLASTICIDAD	NP

PASANTE	
TAMIZ # 40	67.76%
TAMIZ # 200	31.94%

CLASIFICACION	
SUCS	SM
AASHTO	A-2-4



Fuente: Elaboración propia

CALICATA 5

ESTUDIO DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN :** Cerro Colorado
CALICATA : Calicata 5 **FECHA :** 27/11/2012

TAMIZ	DIÁMETRO O (mm)	W RET+TARA (gr)	W RET. (gr)	% RET	% PAS. ACUM
3"	76.20				
2"	50.80				
1 1/2"	38.10				
1"	25.40				
3/4"	19.10				
1/2"	12.70				100.00
3/8"	9.52	3.9	3.9	0.78	99.22
4	4.760	7.8	7.8	1.56	97.66
8	2.380	15.6	15.6	3.12	94.53
10	2.000	5.6	5.6	1.12	93.41
16	1.190	17.0	17.0	3.40	90.01
30	0.590	45.1	45.1	9.03	80.98
40	0.425	24.2	24.2	4.85	76.13
50	0.300	29.2	29.2	5.85	70.28
80	0.180	67.3	67.3	13.48	56.81
100	0.150	29.5	29.5	5.91	50.90
200	0.074	88.1	88.1	17.64	33.26
-200		166.1	166.1	33.26	0.00

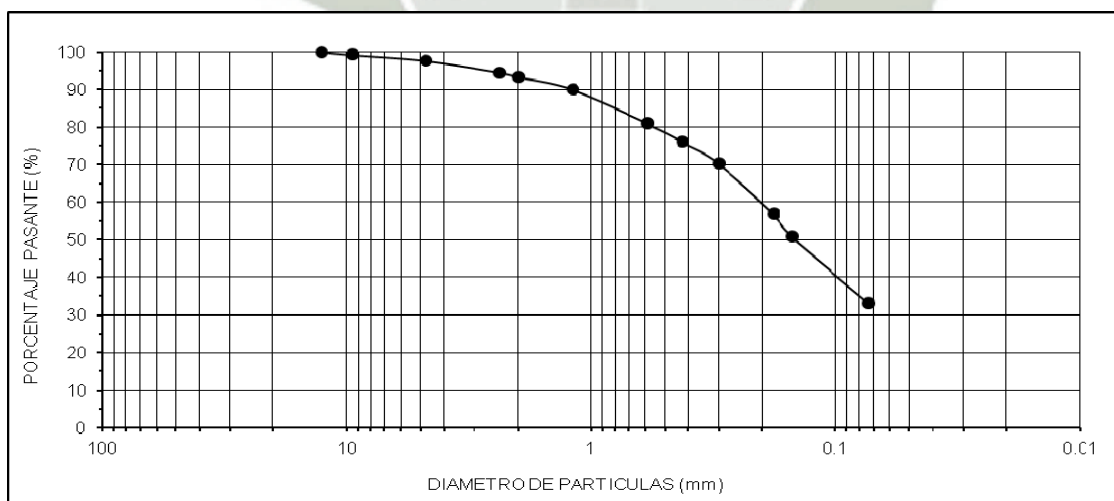
FRACCIONES	
GRAVA	2.34%
ARENA	64.40%
FINOS	33.26%

COEFICIENTES	
Cu	9.37
Cc	0.96

CONSISTENCIA	
L LIQUIDO	NP
L PLASTICO	NP
PLASTICIDAD	NP

PASANTE	
TAMIZ # 40	76.13%
TAMIZ # 200	33.26%

CLASIFICACION	
SUCS	SM
AASHTO	A-2-4



Fuente: Elaboración propia

CALICATA 6

ESTUDIO DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 6	FECHA :	03/12/2012

TAMIZ	DIÁMETRO Ø (mm)	W RET+TARA (gr)	W RET. (gr)	% RET	% PAS. ACUM
3"	76.20				
2"	50.80				
1 1/2"	38.10				
1"	25.40				
3/4"	19.10				
1/2"	12.70				100.00
3/8"	9.52	35.8	3.1	0.62	99.38
4	4.760	35.7	3.0	0.60	98.78
8	2.380	47.4	14.7	2.94	95.84
10	2.000	35.7	3.0	0.60	95.23
16	1.190	50.2	17.5	3.50	91.73
30	0.590	70.3	37.6	7.53	84.20
40	0.425	61.1	28.4	5.69	78.51
50	0.300	74.2	41.5	8.31	70.20
80	0.180	117.9	85.2	17.06	53.14
100	0.150	64.5	31.8	6.37	46.78
200	0.074	137.7	105.0	21.03	25.75
7		161.3	128.6	25.75	0.00

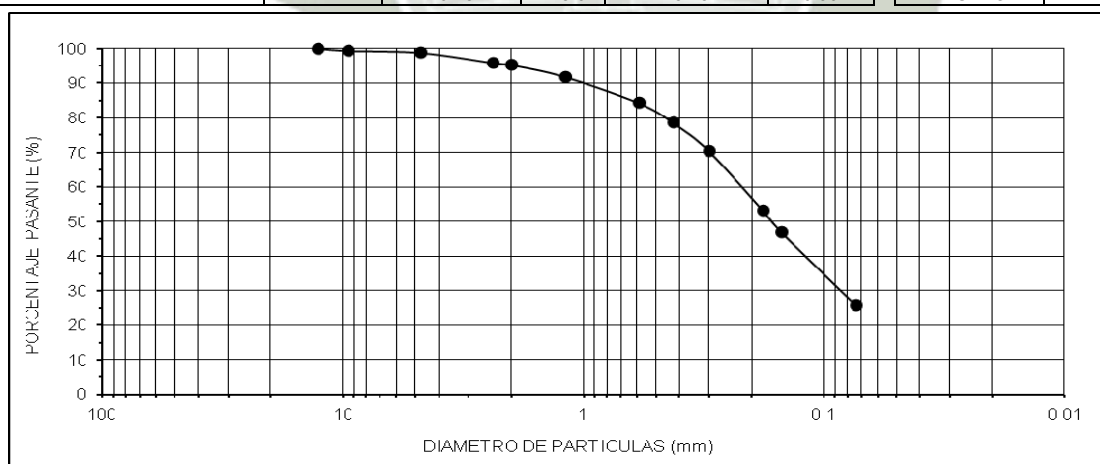
FRACCIONES	
GRAVA	1.22%
ARENA	73.03%
FINOS	25.75%

COEFICIENTES	
Cu	7.94
Cc	1.22

CONSISTENCIA	
L LIQUIDO	NP
L PLASTICO	NP
PLASTICIDAD	NP

PASANTE	
TAMIZ # 40	78.51%
TAMIZ # 200	25.75%

CLASIFICACION	
SUCS	SM
AASHTO	A-2-4



Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos y gráficos

Con respecto a los ensayos del análisis granulométrico, para los seis ensayos se define que:

- Según la clasificación SUCS: SM; y AASHTO: A-4, A-5, A-2-4 la granulometría es semejante a un suelo limoso.
- Carece de plasticidad, dada la ausencia de arcilla en su composición.
- Según el Coeficiente de Uniformidad y el Coeficiente de Curvatura, se define la puzolana como no uniforme y bien graduada.

4.2.2. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo (MTC E 108 – 2000)

Respecto a cómo se define en la norma técnica, el ensayo nos proporciona información sobre *“la humedad o contenido de humedad de un suelo, que es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas”*.

El ensayo demanda que se cumplan requisitos importantes con respecto a la muestra a ensayarse, y que se especifican a continuación.

- Masa mínima recomendada de espécimen para contenidos de humedad reportados a $\pm 1\% = 250 \text{ gr.}^*$

*Para cuando el tamaño de partícula (pasa el 100%) 19.0mm. ó $\frac{3}{4}$ "

Los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos de contenido de humedad son detallados a continuación.

CALICATA 1

ESTUDIO DE SUELOS DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1	FECHA:	15/04/2012

PESO DE MUESTRA HÚMEDA + TARA	300.00	gr
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	262.30	gr
PESO DE TARA	0.00	gr
HUMEDAD	14.37	%

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 2

ESTUDIO DE SUELOS DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 2	FECHA:	15/04/2012

PESO DE MUESTRA HÚMEDA + TARA	300.00	gr
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	265.60	gr
PESO DE TARA	0.00	gr
HUMEDAD	12.95	%

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 3

ESTUDIO DE SUELOS

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 3 **FECHA:** 15/04/2012

PESO DE MUESTRA HÚMEDA + TARA	300.00	gr
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	256.00	gr
PESO DE TARA	0.00	gr
HUMEDAD	17.19	%

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 4

ESTUDIO DE SUELOS

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 4 **FECHA:** 27/11/2012

PESO DE MUESTRA HUMEDA+ TARA	310.10	gr
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	287.50	gr
PESO DE TARA	0.00	gr
HUMEDAD	7.86	%

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 5

ESTUDIO DE SUELOS

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 5 **FECHA:** 27/11/2012

PESO DE MUESTRA HUMEDA+ TARA	299.70	gr
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	275.80	gr
PESO DE TARA	0.00	gr
HUMEDAD	8.67	%

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 6

ESTUDIO DE SUELOS

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 6 **FECHA:** 02/12/2012

PESO DE MUESTRA HUMEDA+ TARA	366.40	gr
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	338.10	gr
PESO DE TARA	0.00	gr
HUMEDAD	8.37	%

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos y gráficos

En relación con la humedad natural, se define que:

- Con respecto a las tres primeras muestras, el momento cuando se obtuvieron, la ciudad de Arequipa estaba en época de lluvias, por lo que los valores son variables, siendo así que el valor más alto se da en la calicata 3 con 17.19%, por ser el día en que hubo mayor precipitación pluvial.
- Las otras 3 muestras; Calicata 4, Calicata 5, Calicata 6, son muestras obtenidas en época de poca precipitación, y es así que se obtuvieron los siguientes resultados 7.86%, 8.67% y 8.37%, respectivamente.

4.2.3. Gravedad específica de los suelos (Picnómetro) - MTC E 113 – 2000

El ensayo, según la norma, nos sirve para determinar la gravedad específica de los suelos, que es una propiedad fundamental del suelo en estudio.

El ensayo requiere que se cumplan condiciones importantes con respecto a la muestra a ensayarse, y que se especifican a continuación.

- La muestra a utilizarse en el ensayo será la pasante de la malla N° 8.

Los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos de gravedad específica son detallados como se ve a continuación.

CALICATA 1

ESTUDIO DE SUELOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
MUESTRA:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
TRAMO:	Calicata 1	FECHA:	30/08/2012

ÍTEM	DESCRIPCIÓN		
1	Peso de muestra seca	(gr)	300.00
2	Peso de picnómetro + agua	(gr)	654.70
3	Peso de picn. + agua + muestra	(gr)	825.90
4	Volumen de muestra	(cm ³)	128.80
5	Temperatura	Cº	20.00
6	Peso unitario de agua	(gr/cm ³)	1.00

RESULTADOS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN		
7	Gravedad Específica de muestra		2.33

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 2

ESTUDIO DE SUELOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
MUESTRA:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
TRAMO:	Calicata 2	FECHA:	30/08/2012

ÍTEM	DESCRIPCIÓN		
1	Peso de muestra seca	(gr)	300.00
2	Peso de picnómetro + agua	(gr)	654.70
3	Peso de picn.+ agua + muestra	(gr)	823.10
4	Volumen de muestra	(cm ³)	131.60
5	Temperatura	Cº	20.00
6	Peso unitario de agua	(gr/cm ³)	1.00

RESULTADOS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN		
7	Gravedad Específica de muestra		2.280

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 3

ESTUDIO DE SUELOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
	MUESTRA:	Estrato I	UBICACIÓN:
TRAMO:	Calicata 3	FECHA:	30/08/2012

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	
1	Peso de muestra seca (gr)	300.00
2	Peso de picnómetro + agua (gr)	654.70
3	Peso de picn. + agua + muestra (gr)	830.00
4	Volumen de muestra (cm3)	124.70
5	Temperatura Cº	20.00
6	Peso unitario de agua (gr/cm3)	1.00

RESULTADOS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	
7	Gravedad Específicade muestra	2.406

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 4

ESTUDIO DE SUELOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
	MUESTRA:	Estrato I	UBICACIÓN:
CALICATA:	Calicata 4	FECHA:	01/12/2012

ITEM	DESCRIPCION	
1	Peso de muestra seca (gr)	250.00
2	Peso de picnómetro + agua (gr)	654.00
3	Peso de picn.+agua+muestra (gr)	793.80
4	Volumen de muestra (cm3)	110.20
5	Temperatura Cº	20.00
6	Peso Unitario de Agua (gr/cm3)	1.00

RESULTADOS

ITEM	DESCRIPCION	
7	Gravedad Específica de Muestra	2.269

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 5

ESTUDIO DE SUELOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
MUESTRA:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA:	Calicata 5	FECHA:	01/12/2012

ITEM	DESCRIPCION	
1	Peso de muestra seca (gr)	308.30
2	Peso de picnómetro + agua (gr)	704.70
3	Peso de picn.+agua+muestra (gr)	877.80
4	Volumen de muestra (cm3)	135.20
5	Temperatura Cº	20.00
6	Peso Unitario de Agua (gr/cm3)	1.00

RESULTADOS

ITEM	DESCRIPCION	
7	Gravedad Específica de Muestra	2.280

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 6

ESTUDIO DE SUELOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
MUESTRA:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA:	Calicata 6	FECHA:	02/12/2012

ITEM	DESCRIPCION	
1	Peso de muestra seca (gr)	308.10
2	Peso de picnómetro + agua (gr)	704.70
3	Peso de picn.+agua+muestra (gr)	877.80
4	Volumen de muestra (cm3)	135.00
5	Temperatura Cº	20.00
6	Peso Unitario de Agua (gr/cm3)	1.00

RESULTADOS

ITEM	DESCRIPCION	
7	Gravedad Específica de Muestra	2.282

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos y gráficos

De acuerdo con el ensayo, se define que:

- La puzolana del estudio tiene un Gravedad Específica que varía entre 2.280 y 2.406

4.2.4. Ensayo para determinar la densidad de los suelos en el campo por el método del cono de arena (MTC E 117 – 2000)

La norma nos refiere que el ensayo de densidad de campo nos sirve para determinar la densidad y peso unitario del suelo *in situ* mediante el método del cono de arena, el cual es primordial para cuando se realiza compactación o cuando se desea conocer la densidad natural del terreno.

El ensayo demanda que se cumplan requisitos importantes con respecto a la muestra a ensayarse, y que se especifican a continuación.

- Aplicable para suelos que no contengan cantidades excesivas de roca o material grueso con un diámetro mayor a 1 ½ pulg. (38mm.)
- Método no adecuado para suelos orgánicos, saturados o altamente plásticos que podrían deformarse o comprimirse durante la excavación del hoyo de ensayo.
- Volumen mínimo del hoyo de ensayo basado en el tamaño máximo de la partícula: 1 plg. → 2120 cm³.

Los resultados obtenidos se exponen a continuación.

CALICATA 1

ESTUDIO DE SUELOS DENSIDAD DE CAMPO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

MUESTRA :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
TRAMO :	Calicata 1	FECHA :	04/2012

ÍTEM	DESCRIPCIÓN		1
1	PESO SUELO + BANDEJA	gr.	1867.0
2	PESO BANDEJA	gr.	188.0
3	PESO NETO SUELO + GRAVA	gr.	1679.0
4	PESO GRAVA SECADA AL AIRE	gr.	0.0
5	PESO DE ARENA + FRASCO	gr.	8413.0
6	PESO DE ARENA QUEDADA + FRASCO	gr.	5185.0
7	PESO DE ARENA EN CONO	gr.	1560.0
8	PESO NETO DE ARENA EMPLEADA	gr.	1668.0
9	DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm3	1.5
10	VOLUMEN DEL HUECO	cm3	1112.0
11	VOLUMEN GRAVA POR DESPLAZAMIENTO	cm3	0.0
12	PESO DEL SUELO	gr.	1679.0
13	VOLUMEN DEL SUELO	cm3.	1112.0
14	DENSIDAD HÚMEDA	gr./cm3	1.510
15	PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	14.37
16	DENSIDAD SECA	gr./cm3	1.320

HUMEDAD

PESO DE MUESTRA HÚMEDA+ TARA	gr	300.00
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	gr	262.30
PESO DE TARA	gr	0.00
HUMEDAD	%	14.37

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 2
ESTUDIO DE SUELOS
DENSIDAD DE CAMPO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

MUESTRA :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
TRAMO :	Calicata 2	FECHA :	04/2012

ÍTEM	DESCRIPCIÓN		1
1	PESO SUELO + BANDEJA	gr.	1702.0
2	PESO BANDEJA	gr.	188.0
3	PESO NETO SUELO + GRAVA	gr.	1514.0
4	PESO GRAVA SECADA AL AIRE	gr.	0.0
5	PESO DE ARENA + FRASCO	gr.	8308.0
6	PESO DE ARENA QUEDADA + FRASCO	gr.	5287.0
7	PESO DE ARENA EN CONO	gr.	1560.0
8	PESO NETO DE ARENA EMPLEADA	gr.	1461.0
9	DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm3	1.5
10	VOLUMEN DEL HUECO	cm3	974.0
11	VOLUMEN GRAVA POR DESPLAZAMIENTO	cm3	cm3
12	PESO DEL SUELO	gr.	1514.0
13	VOLUMEN DEL SUELO	cm3.	974.0
14	DENSIDAD HÚMEDA	gr./cm3	1.554
15	PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	13.0
16	DENSIDAD SECA	gr./cm3	1.376

HUMEDAD

PESO DE MUESTRA HÚMEDA+ TARA	gr	300.00
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	gr	265.60
PESO DE TARA	gr	0.00
HUMEDAD	%	12.95

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 3
ESTUDIO DE SUELOS
DENSIDAD DE CAMPO

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
MUESTRA :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
TRAMO :	Calicata 3	FECHA :	04/2012

ÍTEM	DESCRIPCIÓN		1
1	PESO SUELO + BANDEJA	gr.	1790.0
2	PESO BANDEJA	gr.	191.0
3	PESO NETO SUELO + GRAVA	gr.	1599.0
4	PESO GRAVA SECADA AL AIRE	gr.	0.0
5	PESO DE ARENA + FRASCO	gr.	6886.0
6	PESO DE ARENA QUEDADA + FRASCO	gr.	3768.0
7	PESO DE ARENA EN CONO	gr.	1560.0
8	PESO NETO DE ARENA EMPLEADA	gr.	1558.0
9	DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm3	1.5
10	VOLUMEN DEL HUECO	cm3	1038.7
11	VOLUMEN GRAVA POR DESPLAZAMIENTO	cm3	cm3
12	PESO DEL SUELO	gr.	1599.0
13	VOLUMEN DEL SUELO	cm3.	1038.7
14	DENSIDAD HÚMEDA	gr./cm3	1.539
15	PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	17.2
16	DENSIDAD SECA	gr./cm3	1.314

HUMEDAD

PESO DE MUESTRA HÚMEDA+ TARA	gr	300.00
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	gr	256.00
PESO DE TARA	gr	0.00
HUMEDAD	%	17.19

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 4
ESTUDIO DE SUELOS
DENSIDAD DE CAMPO

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
MUESTRA :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
TRAMO :	Calicata 4	FECHA :	27/11/2012

ITEM	DESCRIPCION		1
1	PESO SUELO + BANDEJA	gr.	3567.0
2	PESO BANDEJA	gr.	191.0
3	PESO NETO SUELO + GRAVA	gr.	3376.0
4	PESO GRAVA SECADA AL AIRE	gr.	0.0
5	PESO DE ARENA + FRASCO	gr.	7182.0
6	PESO DE ARENA QUEDADA + FRASCO	gr.	1465.0
7	PESO DE ARENA EN CONO	gr.	2013.0
8	PESO NETO DE ARENA EMPLEADA	gr.	3704.0
9	DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm3	1.5
10	VOLUMEN DEL HUECO	cm3	2469.3
11	VOLUMEN GRAVA POR DESPLAZAMIENTO	cm3	0.0
12	PESO DEL SUELO	gr.	3376.0
13	VOLUMEN DEL SUELO	cm3.	2469.3
14	DENSIDAD HÚMEDA	gr./cm3	1.367
15	PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	7.9
16	DENSIDAD SECA	gr./cm3	1.268

HUMEDAD

PESO DE MUESTRA HUMEDA+ TARA	gr	310.10
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	gr	287.50
PESO DE TARA	gr	0.00
HUMEDAD	%	7.86

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 5

ESTUDIO DE SUELOS DENSIDAD DE CAMPO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro
Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

MUESTRA : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado
TRAMO : Calicata 5 **FECHA :** 27/11/2012

ITEM	DESCRIPCION		1
1	PESO SUELO + BANDEJA	gr.	3844.0
2	PESO BANDEJA	gr.	189.0
3	PESO NETO SUELO + GRAVA	gr.	3655.0
4	PESO GRAVA SECADA AL AIRE	gr.	0.0
5	PESO DE ARENA + FRASCO	gr.	7213.0
6	PESO DE ARENA QUEDADA + FRASCO	gr.	1433.0
7	PESO DE ARENA EN CONO	gr.	2013.0
8	PESO NETO DE ARENA EMPLEADA	gr.	3767.0
9	DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm3	1.5
10	VOLUMEN DEL HUECO	cm3	2511.3
11	VOLUMEN GRAVA POR DESPLAZAMIENTO	cm3	0.0
12	PESO DEL SUELO	gr.	3655.0
13	VOLUMEN DEL SUELO	cm3.	2511.3
14	DENSIDAD HÚMEDA	gr./cm3	1.455
15	PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	8.7
16	DENSIDAD SECA	gr./cm3	1.339

HUMEDAD

PESO DE MUESTRA HUMEDA+ TARA	gr	299.70
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	gr	275.80
PESO DE TARA	gr	0.00
HUMEDAD	%	8.67

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 6

ESTUDIO DE SUELOS DENSIDAD DE CAMPO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

MUESTRA : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado
TRAMO : Calicata 6 **FECHA :** 02/12/2012

ITEM	DESCRIPCION		1
1	PESO SUELO + BANDEJA	gr.	1987.0
2	PESO BANDEJA	gr.	189.0
3	PESO NETO SUELO + GRAVA	gr.	1798.0
4	PESO GRAVA SECADA AL AIRE	gr.	0.0
5	PESO DE ARENA + FRASCO	gr.	6508.0
6	PESO DE ARENA QUEDADA + FRASCO	gr.	2504.0
7	PESO DE ARENA EN CONO	gr.	2103.0
8	PESO NETO DE ARENA EMPLEADA	gr.	1901.0
9	DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm3	1.5
10	VOLUMEN DEL HUECO	cm3	1267.3
11	VOLUMEN GRAVA POR DESPLAZAMIENTO	cm3	0.0
12	PESO DEL SUELO	gr.	1798.0
13	VOLUMEN DEL SUELO	cm3.	1267.3
14	DENSIDAD HÚMEDA	gr./cm3	1.419
15	PORCENTAJE DE HUMEDAD	%	8.4
16	DENSIDAD SECA	gr./cm3	1.309

HUMEDAD

PESO DE MUESTRA HUMEDA+ TARA	gr	366.40
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	gr	338.10
PESO DE TARA	gr	0.00
HUMEDAD	%	8.37

Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos y gráficos

De acuerdo con los ensayos de densidad de campo, se define que:

- Los resultados obtenidos de la densidad seca de la puzolana, de menor a mayor, son calicata 4, 1, 6, 3, 5 y 2, lo que da a entender que está más compacto el suelo de la calicata 2.

4.2.5. Ensayo de densidad máxima y mínima

La reglamentación que nos sirvió como base para el desarrollo de este ensayo nos describe el siguiente procedimiento:

- Para la densidad máxima, se requiere un molde de Próctor en el que se vierte la muestra de suelo en 3 capas, y se compacta con un martillo de goma, dándole 25 golpes.
- Para la densidad mínima, se requiere el molde de Próctor, en el que se vierte la muestra de suelo libremente.

CALICATA 1
ESTUDIO DE SUELOS
DENSIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado			
	MUESTRA:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA:	Calicata 1	FECHA:	2/11/2012	

DENSIDAD MÁXIMA

DESCRIPCIÓN	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	9370	9368	9369
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2995	2993	2994
Volumen de molde (cm ³)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm ³)	1.396	1.395	1.395

Densidad máxima 1.395 gr/cm³

DENSIDAD MÍNIMA

DESCRIPCIÓN	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	8908	8907	8907
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2533	2532	2532
Volumen de molde (cm ³)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm ³)	1.181	1.180	1.180

Densidad mínima 1.180 gr/cm³

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 2

ESTUDIO DE SUELOS DENSIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA

**NOMBRE DE
TESIS:**

Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del
Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de
Cerro Colorado

MUESTRA:

Estrato I

UBICACIÓN:

Cerro Colorado

CALICATA:

Calicata 2

FECHA:

2/11/2012

DENSIDAD MÁXIMA

DESCRIPCIÓN	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	9403	9405	9406
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	3028	3030	3031
Volumen de molde (cm ³)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm ³)	1.411	1.412	1.413

Densidad máxima 1.412 gr/cm³

DENSIDAD MÍNIMA

DESCRIPCIÓN	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	8950	8952	8952
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2575	2577	2577
Volumen de molde (cm ³)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm ³)	1.200	1.201	1.201

Densidad mínima 1.201 gr/cm³

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 3
ESTUDIO DE SUELOS
DENSIDAD MÁXIMA Y MÍNIMA

**NOMBRE DE
TESIS:**

Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del
Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de
Cerro Colorado

MUESTRA:

Estrato I

UBICACIÓN: Cerro Colorado

CALICATA:

Calicata 3

FECHA: 2/11/2012

DENSIDAD MÁXIMA

DESCRIPCIÓN	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	9360	9358	9360
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2985	2983	2985
Volumen de molde (cm ³)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm ³)	1.391	1.390	1.391

Densidad máxima 1.391 gr/cm³

DENSIDAD MÍNIMA

DESCRIPCIÓN	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	8936	8938	8939
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2561	2563	2564
Volumen de molde (cm ³)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm ³)	1.194	1.195	1.195

Densidad mínima 1.194 gr/cm³

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 4
ESTUDIO DE SUELOS
DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

MUESTRA: Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA: Calicata 4 **FECHA:** 27/11/2012

DENSIDAD MAXIMA

DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	9454	9449	9442
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	3079	3074	3067
Volumen de molde (cm ³)	2145.60	2145.60	2145.60
Densidad (gr/cm ³)	1.435	1.433	1.429

Densidad Máxima 1.432 gr/cm³

DENSIDAD MINIMA

DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	8925	8920	8930
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2550	2545	2555
Volumen de molde (cm ³)	2145.60	2145.60	2145.60
Densidad (gr/cm ³)	1.188	1.186	1.191

Densidad Mínima 1.188 gr/cm³

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 5

ESTUDIO DE SUELOS

DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro
Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

MUESTRA:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA:	Calicata 5	FECHA:	17/11/2012

DENSIDAD MAXIMA

DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	9332	9330	9329
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2957	2955	2954
Volumen de molde (cm ³)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm ³)	1.378	1.377	1.377

Densidad Máxima 1.377 gr/cm³

DENSIDAD MINIMA

DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	8787	8800	8771
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2412	2425	2396
Volumen de molde (cm ³)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm ³)	1.124	1.130	1.117

Densidad Mínima 1.124 gr/cm³

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 6
ESTUDIO DE SUELOS
DENSIDAD MAXIMA Y MINIMA

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

MUESTRA:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA:	Calicata 6	FECHA:	02/12/2012

DENSIDAD MAXIMA

DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	9288	9290	9292
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2913	2915	2917
Volumen de molde (cm3)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm3)	1.358	1.359	1.359

Densidad Máxima 1.359 gr/cm3

DENSIDAD MINIMA

DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	8772	8776	8774
Peso de molde (gr)	6375	6375	6375
Peso de muestra (gr)	2397	2401	2399
Volumen de molde (cm3)	2145.65	2145.65	2145.65
Densidad (gr/cm3)	1.117	1.119	1.118

Densidad Mínima 1.118 gr/cm3

Fuente: Elaboración propia

4.2.6. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 Pie-Lb/Pie³) (MTC E 115 – 2000)

La norma nos refiere que el ensayo de compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³) nos sirve para *“determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una energía de compactación de 56 000 lb-pie/pie³ (2 700 kN-m/m³).”*

El ensayo demanda que se cumplan requisitos importantes con respecto a la muestra a ensayarse, y que se especifican a continuación.

- Aplicable para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenida en el tamiz de ¾” plg. (19.0 mm).
- Existen 3 métodos de estudio, siendo el utilizado para la investigación el “MÉTODO A” – Con las siguientes características:
 - Molde: 4 plg (101.6 mm).
 - Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz N°4 (4.75 mm).
 - Capas: 5
 - Golpes por capa: 25
 - Uso: Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N°4 (4.75mm).

- Otros usos: Si el método no es especificado, los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando los métodos B o C.

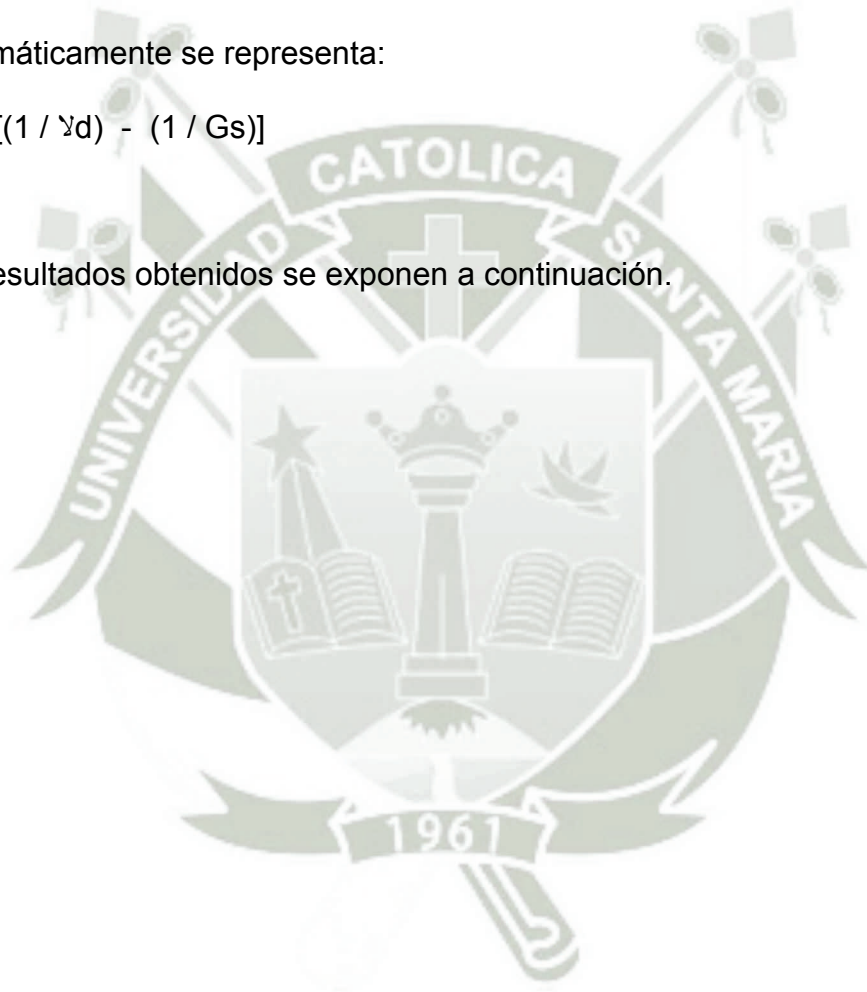
Curva de Saturación:

La curva de saturación representa la densidad seca de un suelo en estado de saturación.

Esto equivale a que los vacíos, V_v , estén totalmente ocupados por agua, y matemáticamente se representa:

$$W = [(1 / \gamma_d) - (1 / G_s)]$$

Los resultados obtenidos se exponen a continuación.



CALICATA 1

ESTUDIO DE SUELOS

ENSAYO DE COMPACTACION

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado
CALICATA : Calicata 1 **FECHA:** 17/02/2012

ENSAYO	1	2	3	4	5
--------	---	---	---	---	---

DETERMINACION DE LA DENSIDAD HUMEDA

Peso de molde+suelo	gr	4779.0	4800.0	4842.0	4904.0	4898.0
Peso de molde	gr	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2
peso de suelo compactado	gr	1468.8	1489.8	1531.8	1593.8	1587.8
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.550	1.572	1.616	1.682	1.675

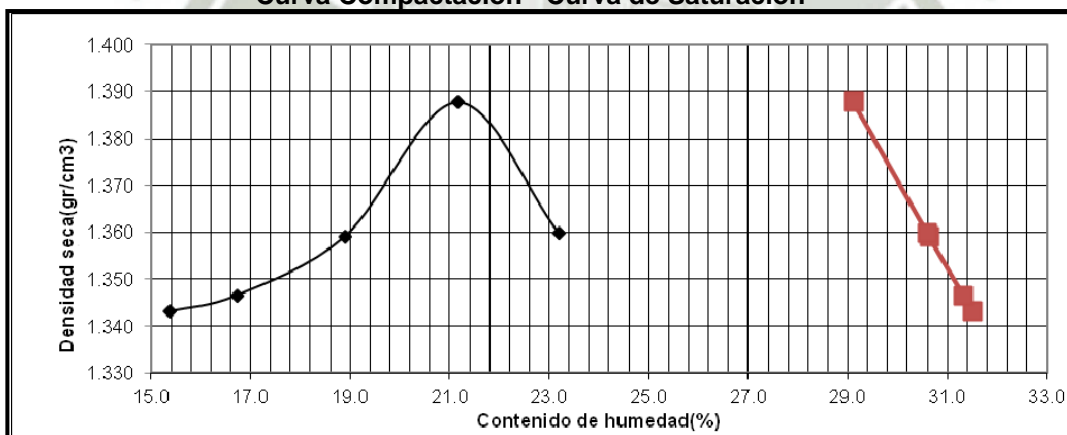
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso suelo húmedo+tara	gr	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Peso de suelo seco+tara	gr	260.00	257.00	252.30	247.60	243.50
Peso de tara	gr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	gr	40.00	43.00	47.70	52.40	56.50
Peso de suelo seco	gr	260.00	257.00	252.30	247.60	243.50
Contenido de humedad	%	15.38	16.73	18.91	21.16	23.20

DETERMINACION DE LA DENSIDAD SECA

Densidad seca	gr/cm ³	1.343	1.347	1.359	1.388	1.360
---------------	--------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Curva Compactación - Curva de Saturación



Densidad máxima = 1.388 gr/cm³
Humedad óptima = 21.16%
Volumen de molde = 947.8 cm³

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 2

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE COMPACTACION

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado
CALICATA : Calicata 2 **FECHA:** 17/02/2012

ENSAYO		1	2	3	4	5
--------	--	---	---	---	---	---

DETERMINACION DE LA DENSIDAD HUMEDA

Peso de molde+suelo	gr	4773.0	4815.0	4850.0	4904.0	4899.0
Peso de molde	gr	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2
peso de suelo compactado	gr	1462.8	1504.8	1539.8	1593.8	1588.8
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.543	1.588	1.625	1.682	1.676

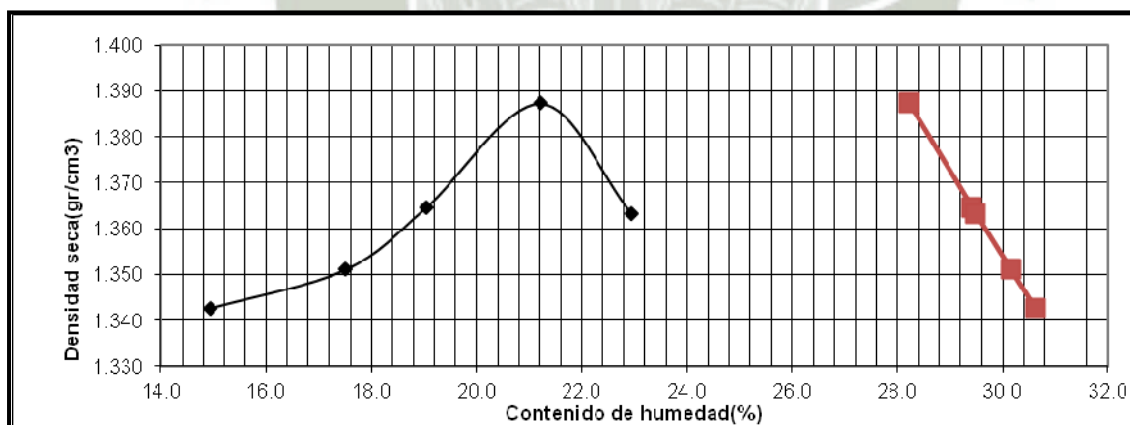
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso suelo húmedo+tara	gr	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Peso de suelo seco+tara	gr	261.00	255.30	252.00	247.50	244.00
Peso de tara	gr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	gr	39.00	44.70	48.00	52.50	56.00
Peso de suelo seco	gr	261.00	255.30	252.00	247.50	244.00
Contenido de humedad	%	14.94	17.51	19.05	21.21	22.95

DETERMINACION DE LA DENSIDAD SECA

Densidad seca	gr/cm ³	1.343	1.351	1.365	1.387	1.363
---------------	--------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Curva Compactación - Curva de Saturación



Densidad máxima = 1.387 gr/cm³
Humedad óptima = 21.21%
Volumen de molde = 947.8 cm³

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 3

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE COMPACTACION

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado
CALICATA : Calicata 3 **FECHA:** 20/04/2012

ENSAYO	1	2	3	4	5
--------	---	---	---	---	---

DETERMINACION DE LA DENSIDAD HUMEDA

Peso de molde+suelo	gr	4778.0	4809.0	4848.0	4901.0	4898.0
Peso de molde	gr	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2
peso de suelo compactado	gr	1467.8	1498.8	1537.8	1590.8	1587.8
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.549	1.581	1.622	1.678	1.675

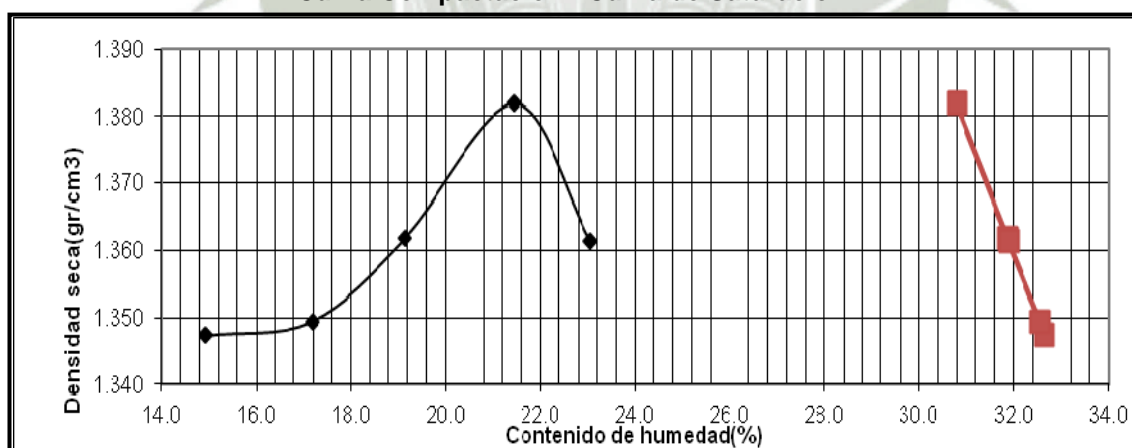
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso suelo húmedo+tara	gr	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Peso de suelo seco+tara	gr	261.00	256.00	251.80	247.00	243.80
Peso de tara	gr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	gr	39.00	44.00	48.20	53.00	56.20
Peso de suelo seco	gr	261.00	256.00	251.80	247.00	243.80
Contenido de humedad	%	14.94	17.19	19.14	21.46	23.05

DETERMINACION DE LA DENSIDAD SECA

Densidad seca	gr/cm ³	1.347	1.349	1.362	1.382	1.361
---------------	--------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Curva Compactación - Curva de Saturación



Densidad máxima = 1.382 gr/cm³
Humedad óptima = 21.46%
Volumen de molde = 947.8 cm³

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 4

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE COMPACTACION

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 4 **FECHA:** 27/11/2012

ENSAYO		1	2	3	4	5
--------	--	---	---	---	---	---

DETERMINACION DE LA DENSIDAD HUMEDA

Peso de molde+suelo	gr	4809.0	4861.0	4913.0	4955.6	4959.0
Peso de molde	gr	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2
peso de suelo compactado	gr	1498.8	1550.8	1602.8	1645.4	1648.8
Densidad húmeda	gr/cm3	1.581	1.636	1.691	1.736	1.740

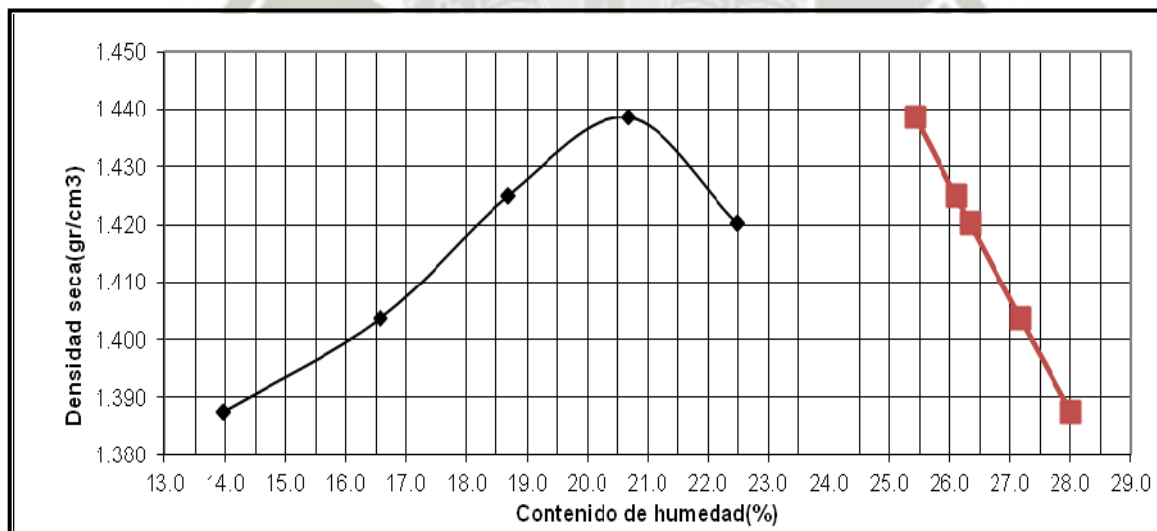
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso suelo húmedo+tara	gr	261.00	261.00	270.00	232.90	261.40
Peso de suelo seco+tara	gr	229.00	223.90	227.50	193.00	213.40
Peso de tara	gr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	gr	32.00	37.10	42.50	39.90	48.00
Peso de suelo seco	gr	229.00	223.90	227.50	193.00	213.40
Contenido de humedad	%	13.97	16.57	18.68	20.67	22.49

DETERMINACION DE LA DENSIDAD SECA

Densidad seca	gr/cm3	1.387	1.404	1.425	1.439	1.420
---------------	--------	-------	-------	-------	-------	-------

Curva Compactación - Curva de Saturación



Densidad máxima = 1.439 gr/cm3
Humedad óptima = 20.67%
Volumen de molde = 947.8 cm3
Fuente: Elaboración propia

CALICATA 5

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE COMPACTACION

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado				
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado		
CALICATA :	Calicata 5	FECHA:	27/11/2012		

ENSAYO		1	2	3	4	5
--------	--	---	---	---	---	---

DETERMINACION DE LA DENSIDAD HUMEDA

Peso de molde+suelo	gr	4784.0	4834.0	4877.0	4911.0	4912.0
Peso de molde	gr	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2
peso de suelo compactado	gr	1473.8	1523.8	1566.8	1600.8	1601.8
Densidad húmeda	gr/cm ³	1.555	1.608	1.653	1.689	1.690

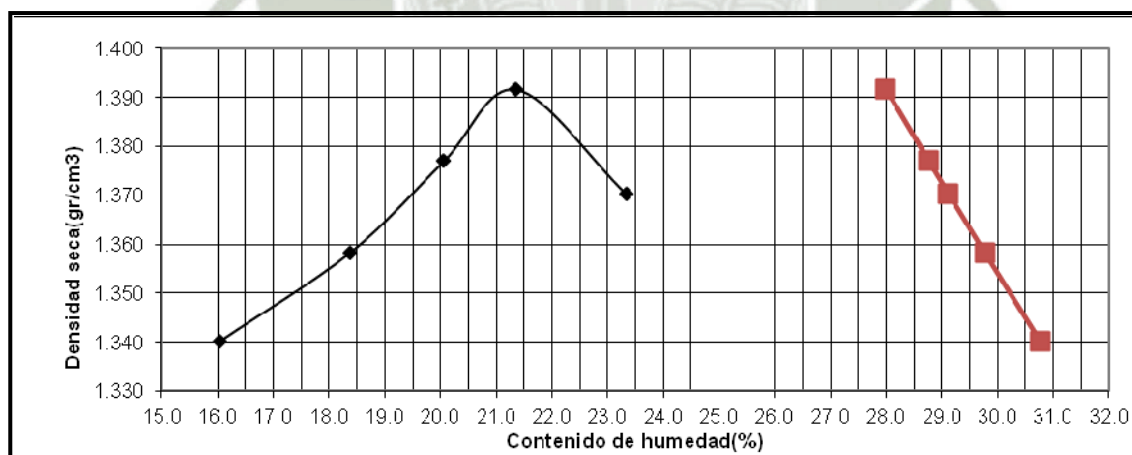
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso suelo húmedo+tara	gr	283.00	290.00	234.10	379.50	373.70
Peso de suelo seco+tara	gr	243.90	245.00	195.00	312.70	303.00
Peso de tara	gr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	gr	39.10	45.00	39.10	66.80	70.70
Peso de suelo seco	gr	243.90	245.00	195.00	312.70	303.00
Contenido de humedad	%	16.03	18.37	20.05	21.36	23.33

DETERMINACION DE LA DENSIDAD SECA

Densidad seca	gr/cm ³	1.340	1.358	1.377	1.392	1.370
---------------	--------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Curva Compactación - Curva de Saturación



Densidad máxima = 1.392 gr/cm³
Humedad óptima = 21.36%
Volumen de molde = 947.8 cm³

Fuente: Elaboración propia

CALICATA 6

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE COMPACTACION

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 6 **FECHA:** 02/12/2012

ENSAYO		1	2	3	4	5
--------	--	---	---	---	---	---

DETERMINACION DE LA DENSIDAD HUMEDA

Peso de molde+suelo	gr	4752.0	4799.0	4862.0	4899.0	4898.0
Peso de molde	gr	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2	3310.2
peso de suelo compactado	gr	1441.8	1488.8	1551.8	1588.8	1587.8
Densidad húmeda	gr/cm3	1.521	1.571	1.637	1.676	1.675

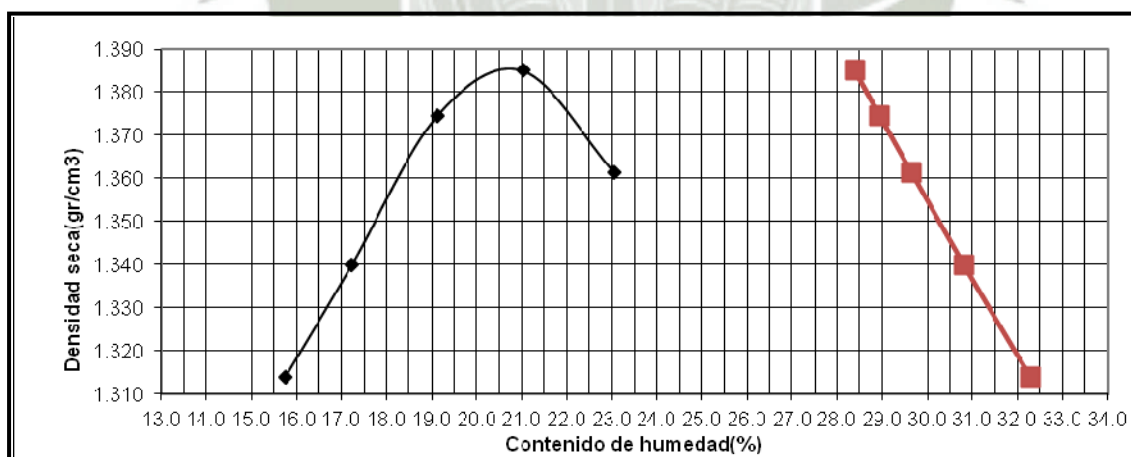
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Peso suelo húmedo+tara	gr	256.30	271.50	229.90	234.80	227.90
Peso de suelo seco+tara	gr	221.40	231.60	193.00	194.00	185.20
Peso de tara	gr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua	gr	34.90	39.90	36.90	40.80	42.70
Peso de suelo seco	gr	221.40	231.60	193.00	194.00	185.20
Contenido de humedad	%	15.76	17.23	19.12	21.03	23.06

DETERMINACION DE LA DENSIDAD SECA

Densidad seca	gr/cm3	1.314	1.340	1.374	1.385	1.361
---------------	--------	-------	-------	-------	-------	-------

Curva Compactación - Curva de Saturación



Densidad máxima = 1.385 gr/cm3
Humedad óptima = 21.03%
Volumen de molde = 947.8 cm3
Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos y gráficos

De acuerdo con los ensayos de compactación del suelo puzolánico, se define que:

- Los datos obtenidos en los ensayos nos dan valores que varían de 1.382 gr/cm³ a 1.439 gr/cm³; los valores de humedad óptima no tienen mucha variación y van de 20.61% a 21.46%, con lo que concluimos que, con respecto a la compactación de cada una de las muestras, no varían significativamente por ser de un mismo tipo de suelo, pero se le da a cada muestra su propio procedimiento de estudio.

4.2.7. CBR de suelos (laboratorio) (MTC E 132 – 2000)

Según la norma, el estudio del CBR (California Bearing Ratio o Razón de Soporte de California) tiene como finalidad brindar datos sobre la capacidad portante del suelo, para obras de construcción y para obras viales. Este estudio siempre se realiza para mantener los estándares de calidad en obra.

Por ser un ensayo que aporta mucho valor a la investigación, brindaremos una breve reseña de cómo se genera esta prueba.

Origen del ensayo de CBR

El ensayo del CBR fue propuesto en 1929 por los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter del Departamento de Carreteras de California, lo que justifica el nombre que lleva. 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 subrasante 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. (CHANG, 2005)

El ensayo demanda que se cumplan requisitos importantes con respecto a la muestra a ensayarse, y que se especifican a continuación.

- Aplicable para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenida en el tamiz de $\frac{3}{4}$ " plg. (19.0 mm).
- Para la compactación de los especímenes se debe tener en cuenta las siguientes características:
 - Molde: 6 plg (152.4 mm).
 - Materiales: Se emplea el que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ (19.1 mm).
 - Capas: 5
 - Golpes por capa: 5, 15, 25, 35, 45, 55

Los resultados obtenidos se exponen a continuación.

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I

UBICACIÓN: Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 1

FECHA : 30/08/2012

Nº GOLPES	5		15		25		35		45		55	
Condición. de Muestra	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado
Volumen de molde (cm ³)	2131.7	2131.7	2122.2	2122.2	2034.5	2034.5	2114.0	2114.0	2122.2	2122.2	2034.5	2034.5
Peso de molde+suelo (gr)	11450.0	11735.0	11651.0	11830.0	11704.0	11820.0	10698.0	10769.0	11768.0	11810.0	10709.0	10749.0
Peso de molde (gr)	8334.0	8334.0	8406.0	8406.0	8512.0	8512.0	7286.0	7286.0	8278.0	8278.0	7287.0	7287.0
Peso de suelo compact. (gr)	3116.0	3401.0	3245.0	3424.0	3192.0	3308.0	3412.0	3483.0	3490.0	3532.0	3422.0	3462.0
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.462	1.595	1.529	1.613	1.569	1.626	1.614	1.648	1.644	1.664	1.682	1.702
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente Nº	M-1		M-2		M-3		M-4		M-5		M-6	
Peso suelo húmedo (gr)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Peso de suelo seco (gr)	247.20	229.40	247.70	237.80	248.00	243.10	247.50	243.40	247.60	244.60	247.60	245.20
Peso de tara (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua (gr)	52.80	70.60	52.30	62.20	52.00	56.90	52.50	56.60	52.40	55.40	52.40	54.80
Peso de suelo seco (gr)	247.20	229.40	247.70	237.80	248.00	243.10	247.50	243.40	247.60	244.60	247.60	245.20
Conten. de humedad (%)	21.36	30.78	21.11	26.16	20.97	23.41	21.21	23.25	21.16	22.65	21.16	22.35
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA												
Densidad seca (gr/cm ³)	1.204	1.220	1.262	1.279	1.297	1.318	1.332	1.337	1.357	1.357	1.388	1.391

PENETRACIÓN

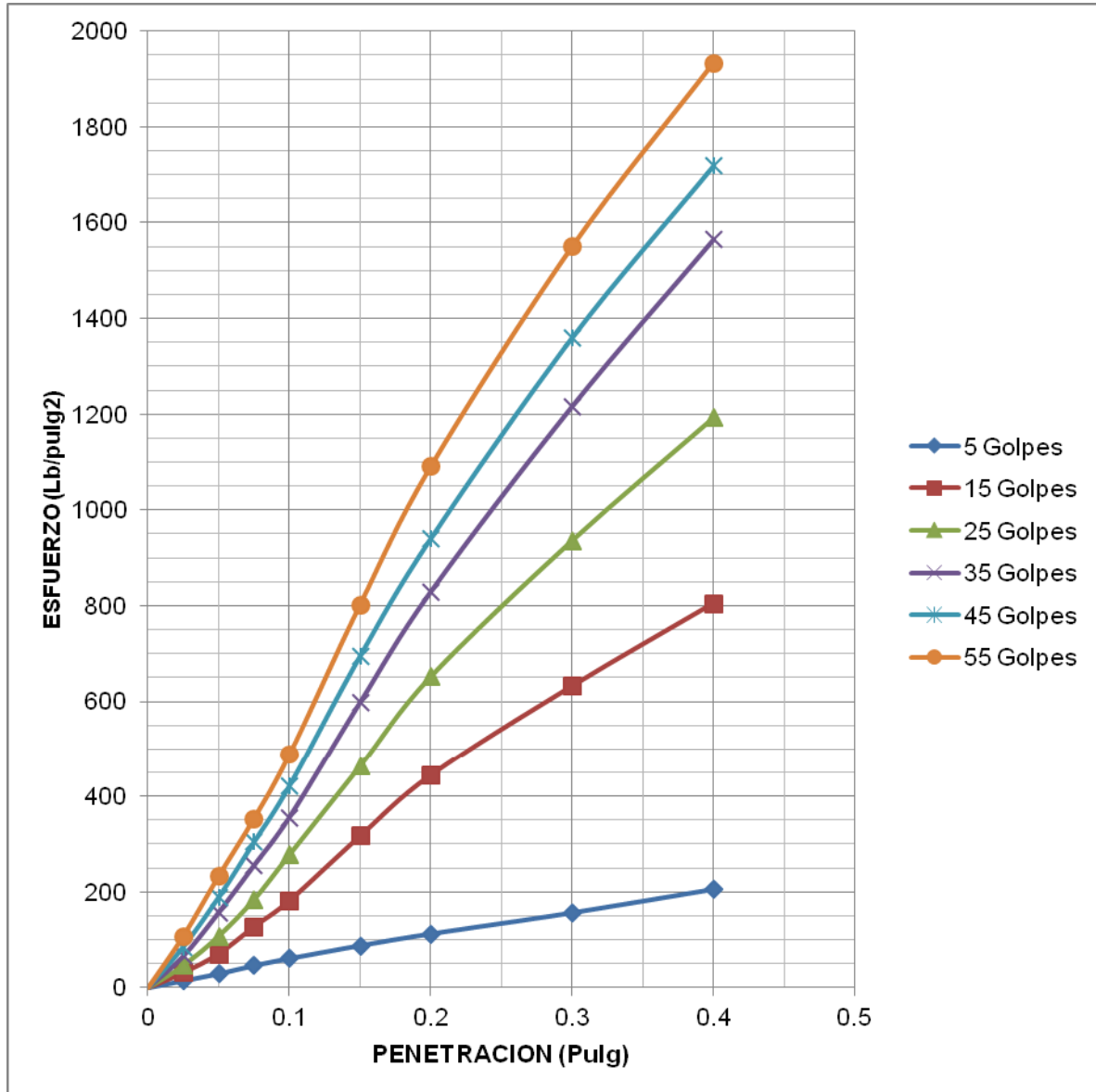
Penetración	Presión Patro. Lb/pulg.2	Molde Nº 01		Molde Nº 02		Molde Nº 03		Molde Nº 04		Molde Nº 05		Molde Nº 06	
		Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2
0.025		7	14	14	31	20	46	28	66	36	86	45	108
0.050		13	29	30	71	45	108	65	157	78	189	96	233
0.075		20	46	53	128	76	184	105	255	125	305	145	354
0.100	1000	26	61	75	182	114	278	146	356	173	422	200	488
0.150		37	88	130	317	190	464	245	598	285	696	329	803
0.200	1500	47	113	182	444	267	652	340	829	386	941	448	1091
0.300		65	157	259	632	384	936	500	1216	560	1361	639	1550
0.400		85	206	330	805	490	1192	645	1565	710	1720	800	1934

Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1	FECHA :	30/08/2012

Gráfica Esfuerzo vs. Penetración



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

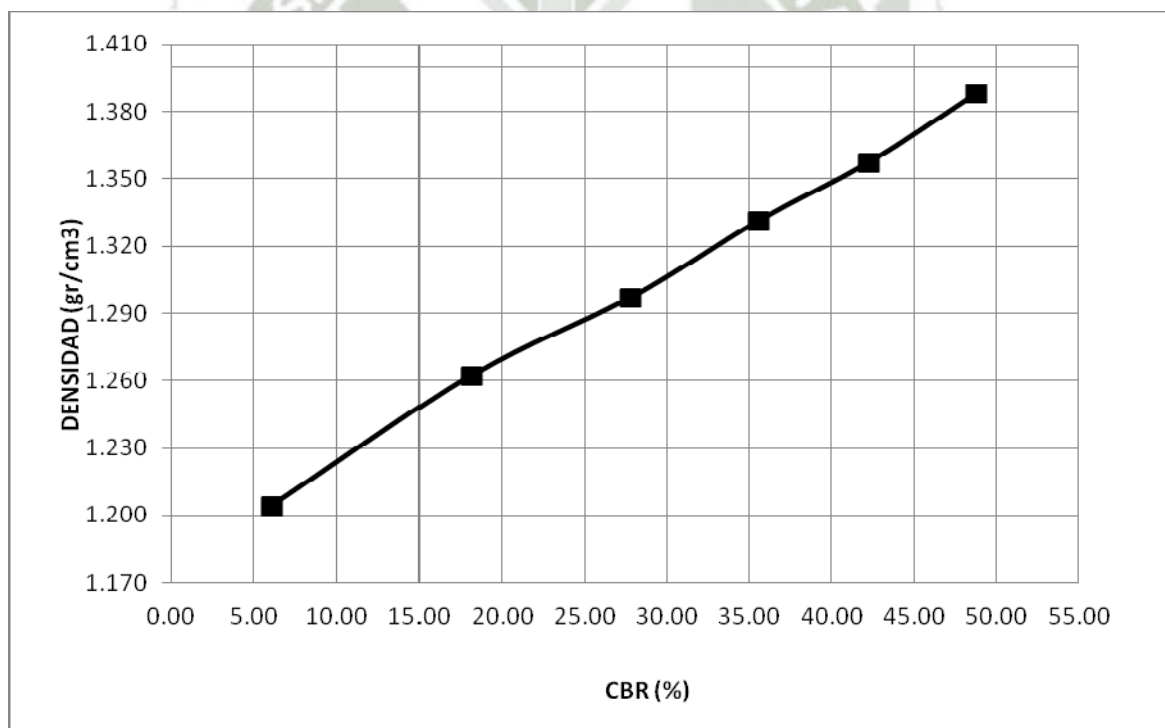
NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 1 **FECHA :** 30/08/2012

Número de Golpes	CBR (%) 0.1"	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
5 GOLFES	6.10	1.204
15 GOLFES	18.17	1.262
25 GOLFES	27.75	1.297
35 GOLFES	35.60	1.332
45 GOLFES	42.22	1.357
55 GOLFES	48.82	1.388

DENSIDAD – CBR



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos
Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 2 **FECHA :** 30/08/2012

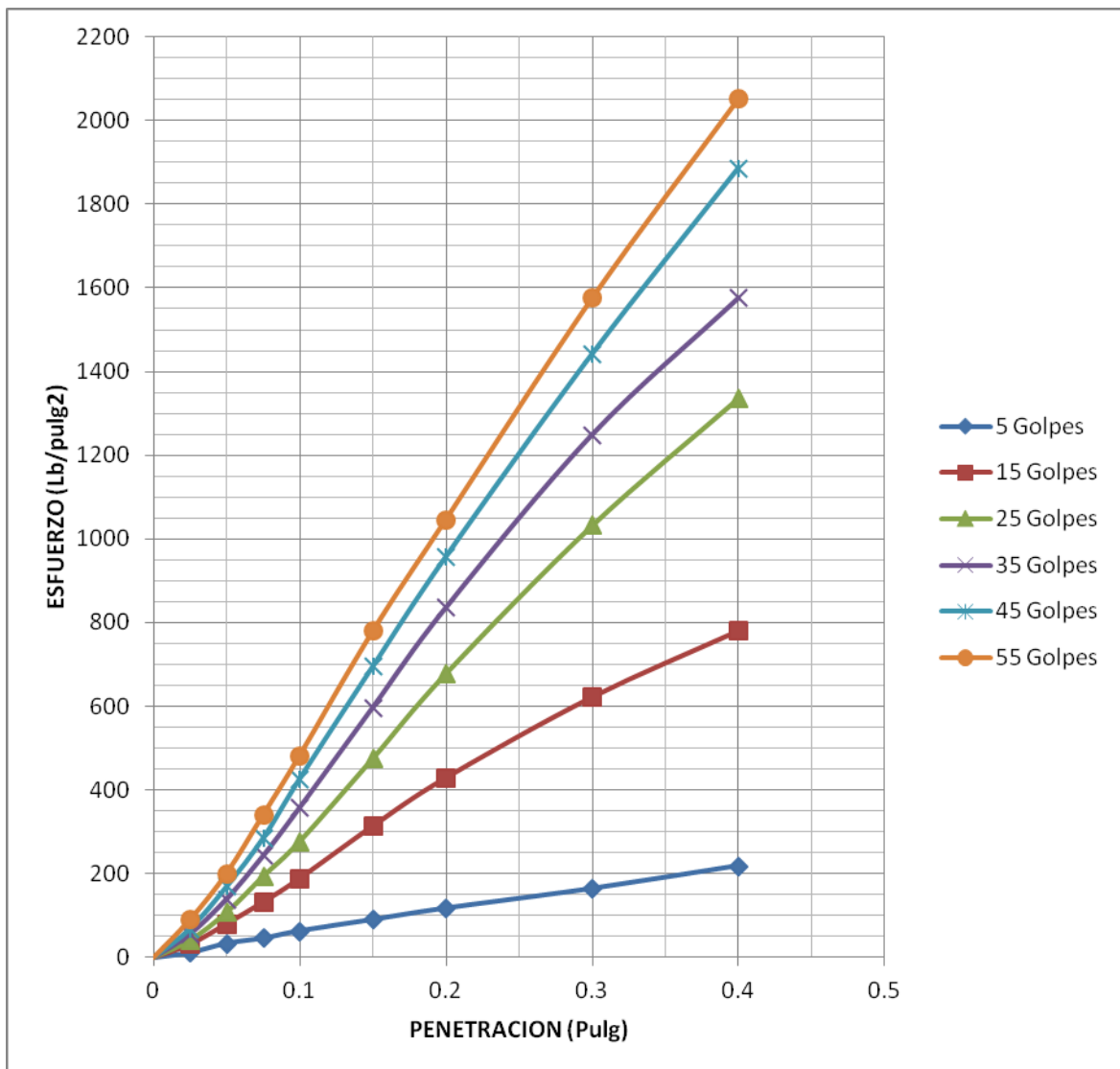
Nº GOLPES	5		15		25		35		45		55		
Condición. de Muestra	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	
Volumen de molde (cm3)	2034.5	2034.5	2122.2	2122.2	2101.8	2101.8	2114.0	2114.0	2078.3	2078.3	2114.0	2114.0	
Peso de molde+suelo (gr)	11481.0	11801.0	11665.0	11851.0	10606.0	10720.0	10701.0	10787.0	11712.0	11774.0	10839.0	10887.0	
Peso de molde (gr)	8512.0	8512.0	8406.0	8406.0	7287.0	7287.0	7286.0	7286.0	8278.0	8278.0	7286.0	7286.0	
Peso de suelo compact. (gr)	2969.0	3289.0	3259.0	3445.0	3319.0	3433.0	3415.0	3501.0	3434.0	3496.0	3553.0	3601.0	
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.459	1.617	1.536	1.623	1.579	1.633	1.615	1.656	1.652	1.682	1.681	1.703	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD													
Recipiente Nº	M-1		M-2		M-3		M-4		M-5		M-6		
Peso suelo húmedo (gr)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	
Peso de suelo seco (gr)	247.50	230.10	247.40	237.50	247.30	240.80	247.40	242.50	247.40	244.50	247.50	245.10	
Peso de tara (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Peso de agua (gr)	52.50	69.90	52.60	62.50	52.70	59.20	52.60	57.50	52.60	55.50	52.50	54.90	
Peso de suelo seco (gr)	247.50	230.10	247.40	237.50	247.30	240.80	247.40	242.50	247.40	244.50	247.50	245.10	
Conten. de humedad (%)	21.21	30.38	21.26	26.32	21.31	24.58	21.26	23.71	21.26	22.70	21.21	22.40	
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA													
Densidad seca (gr/cm3)	1.204	1.240	1.266	1.285	1.302	1.311	1.332	1.339	1.363	1.371	1.387	1.392	
PENETRACIÓN													
Penetración	Presión Patro.	Molde Nº 01		Molde Nº 02		Molde Nº 03		Molde Nº 04		Molde Nº 05		Molde Nº 06	
Pulg.	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2
0.025		6	12	14	31	18	41	24	56	29	68	38	91
0.05		15	34	34	81	45	108	58	140	70	169	83	201
0.075		20	46	55	132	80	194	100	243	117	285	140	341
0.1	1000	27	64	78	189	114	278	147	358	175	427	198	483
0.15		38	91	129	314	195	476	245	598	285	696	320	781
0.2	1500	49	118	176	430	278	679	343	837	393	958	430	1047
0.3		68	164	255	623	424	1033	514	1250	594	1442	650	1577
0.4		90	219	320	781	550	1337	650	1577	780	1887	850	2053

Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 2	FECHA :	30/08/2012

Gráfica Esfuerzo vs. Penetración



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

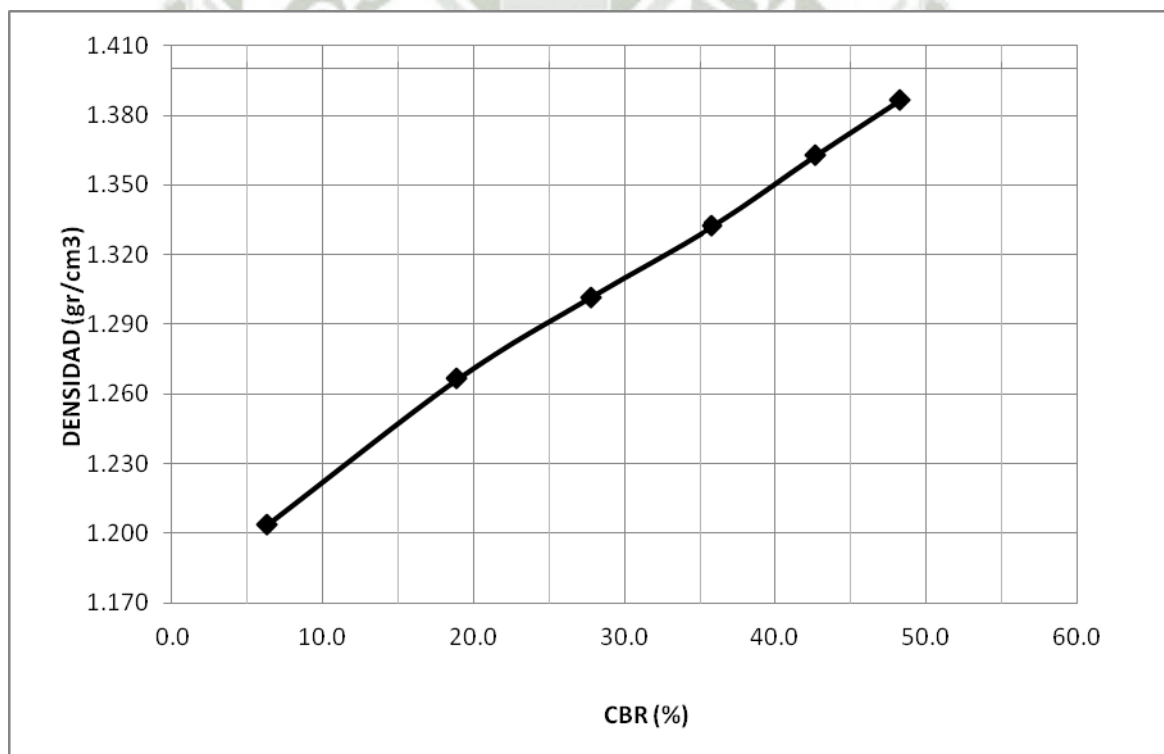
NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 2 **FECHA :** 30/08/2012

Número de Golpes	CBR (%) 0.1"	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
5 GOLFES	6.4	1.204
15 GOLFES	18.9	1.266
25 GOLFES	27.8	1.302
35 GOLFES	35.8	1.332
45 GOLFES	42.7	1.363
55 GOLFES	48.3	1.387

DENSIDAD – CBR



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos
Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 3 **FECHA :** 30/08/2012

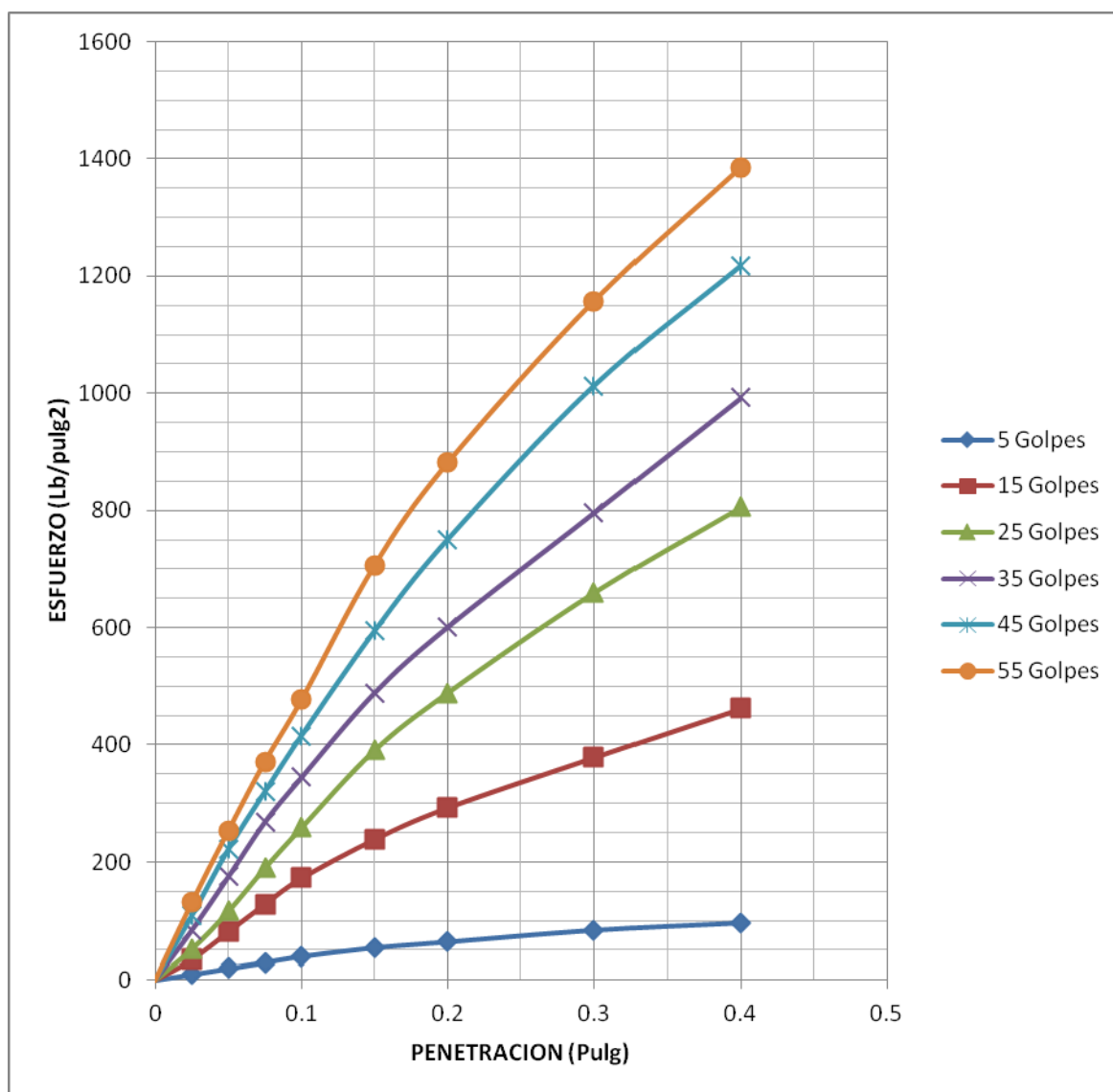
Nº GOLPES	5		15		25		35		45		55		
Condición. de Muestra	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	
Volumen de molde (cm3)	2068.6	2068.6	2059.4	2059.4	2059.4	2059.4	2068.6	2068.6	2068.0	2068.0	2059.4	2059.4	
Peso de molde+suelo (gr)	11890.0	12189.0	11857.0	12042.0	10275.0	10389.0	10301.0	10384.0	12195.0	12256.0	10546.0	10590.0	
Peso de molde (gr)	8887.0	8887.0	8724.0	8724.0	7045.0	7045.0	6970.0	6970.0	8784.0	8784.0	7085.0	7085.0	
Peso de suelo compact. (gr)	3003.0	3302.0	3133.0	3318.0	3230.0	3344.0	3331.0	3414.0	3411.0	3472.0	3461.0	3505.0	
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.452	1.596	1.521	1.611	1.568	1.624	1.610	1.650	1.649	1.679	1.681	1.702	
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD													
Recipiente Nº	M-1		M-2		M-3		M-4		M-5		M-6		
Peso suelo húmedo (gr)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	
Peso de suelo seco (gr)	246.90	228.80	247.20	236.30	246.90	239.30	246.90	241.90	247.00	243.50	247.00	244.20	
Peso de tara (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Peso de agua (gr)	53.10	71.20	52.80	63.70	53.10	60.70	53.10	58.10	53.00	56.50	53.00	55.80	
Peso de suelo seco (gr)	246.90	228.80	247.20	236.30	246.90	239.30	246.90	241.90	247.00	243.50	247.00	244.20	
Conten. de humedad (%)	21.51	31.12	21.36	26.96	21.51	25.37	21.51	24.02	21.46	23.20	21.46	22.85	
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD SECA													
Densidad seca (gr/cm3)	1.195	1.217	1.254	1.269	1.291	1.295	1.325	1.331	1.358	1.363	1.384	1.385	
PENETRACIÓN													
Penetración	Presión Patro.	Molde Nº 01		Molde Nº 02		Molde Nº 03		Molde Nº 04		Molde Nº 05		Molde Nº 06	
Pulg.	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2
				0	0	0	0	0					
0.025		5	9	15	34	22	51	35	83	45	108	54	130
0.05		9	19	34	81	48	115	72	174	91	221	104	253
0.075		13	29	53	128	78	189	110	268	131	319	152	371
0.1	1000	17	39	71	172	106	258	141	344	170	415	195	476
0.15		23	54	98	238	160	390	200	488	243	593	289	705
0.2	1500	27	64	120	292	200	488	246	601	307	749	361	880
0.3		35	83	155	378	270	659	326	795	415	1011	475	1156
0.4		40	96	189	461	330	805	407	992	500	1216	570	1385

Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 3	FECHA :	30/08/2012

Gráfica Esfuerzo vs. Penetración



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

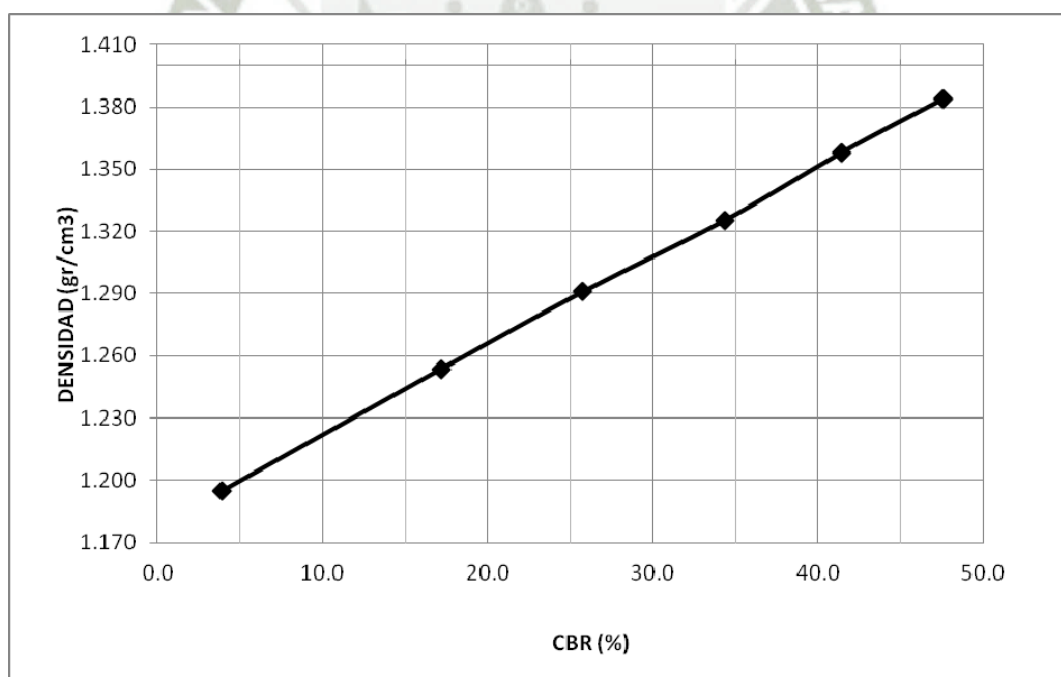
NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 3 **FECHA :** 30/08/2012

Número de Golpes	CBR (%) 0.1"	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
5 GOLPES	3.9	1.195
15 GOLPES	17.2	1.254
25 GOLPES	25.8	1.291
35 GOLPES	34.4	1.325
45 GOLPES	41.5	1.358
55 GOLPES	47.6	1.384

DENSIDAD - CBR



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 4 **FECHA :** 27/11/2012

Nº GOLPES	5		15		25		35		45		55	
Condición. de Muestra	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado
Volumen de molde (cm ³)	2129.7	2129.7	2128.9	2128.9	2064.1	2064.1	2034.5	2034.5	2122.2	2122.2	2131.7	2131.7
Peso de molde+suelo (gr)	11276.0	11452.0	11444.0	11501.0	10435.0	10603.0	11821.0	11989.0	11993.0	12023.0	11991.0	12010.0
Peso de molde (gr)	8107.0	8107.0	8153.0	8153.0	7161.0	7161.0	8512.0	8512.0	8406.0	8406.0	8334.0	8334.0
peso de suelo compact. (gr)	3169.0	3345.0	3291.0	3348.0	3274.0	3442.0	3309.0	3477.0	3587.0	3617.0	3657.0	3676.0
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.488	1.571	1.546	1.573	1.586	1.668	1.626	1.709	1.690	1.704	1.716	1.724
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD												
Recipiente Nº	M-1		M-2		M-3		M-4		M-5		M-6	
Peso suelo húmedo (gr)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00
Peso de suelo seco (gr)	248.20	234.80	248.30	238.70	249.00	241.90	248.90	243.70	249.00	245.80	248.70	246.20
Peso de tara (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de agua (gr)	51.80	65.20	51.70	61.30	51.00	58.10	51.10	56.30	51.00	54.20	51.30	53.80
Peso de suelo seco (gr)	248.20	234.80	248.30	238.70	249.00	241.90	248.90	243.70	249.00	245.80	248.70	246.20
Conten. de humedad (%)	20.87	27.77	20.82	25.68	20.48	24.02	20.53	23.10	20.48	22.05	20.63	21.85
DETERMINACION DE LA DENSIDAD SECA												
Densidad seca (gr/cm ³)	1.231	1.229	1.279	1.251	1.317	1.345	1.349	1.388	1.403	1.396	1.422	1.415

PENETRACION

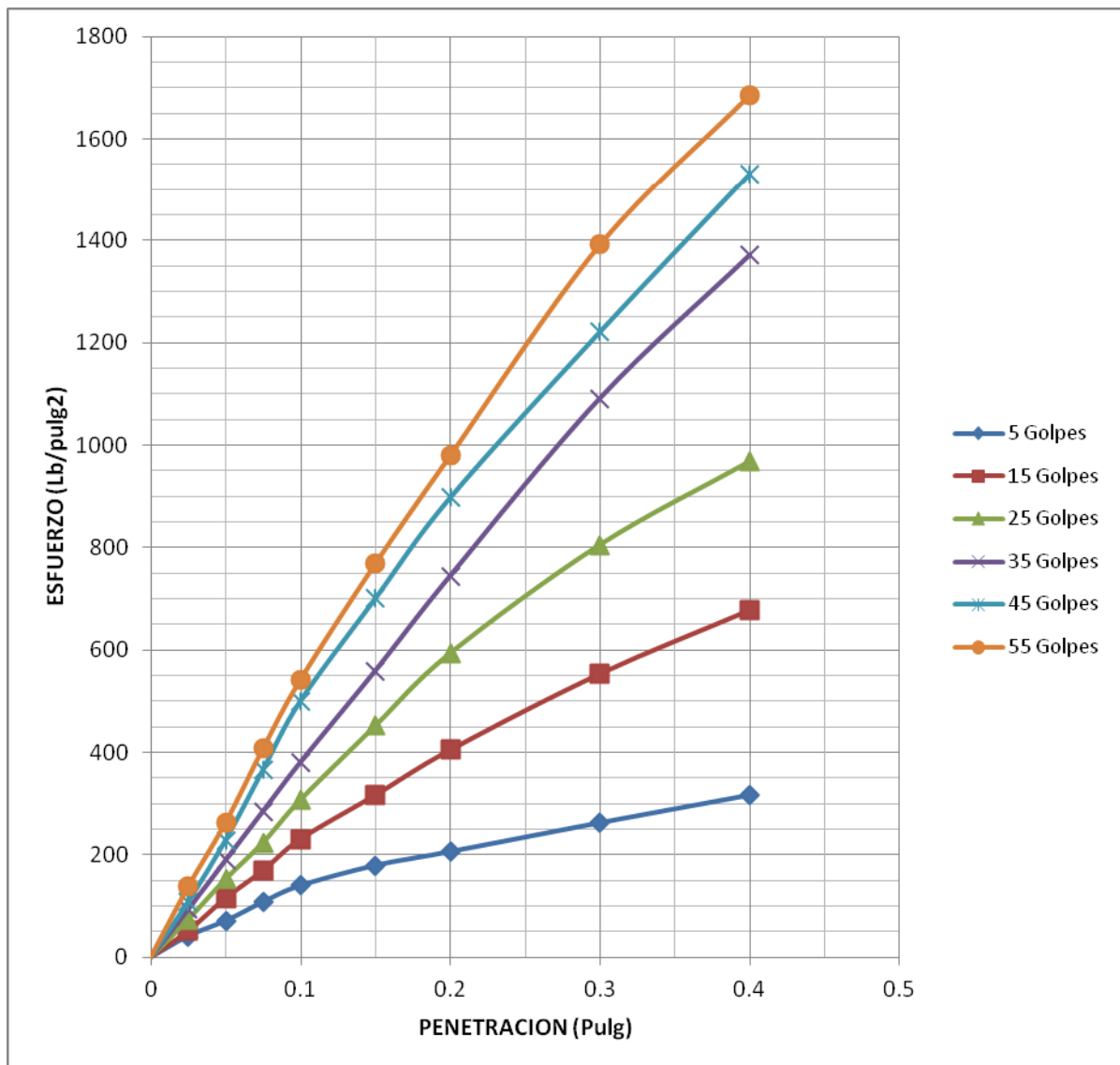
Penetracion	Presión	Molde Nº 01		Molde Nº 02		Molde Nº 03		Molde Nº 04		Molde Nº 05		Molde Nº 06	
Pulg.	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2
0.025		18	41	22	51	31	73	39	93	45	108	57	137
0.05		30	71	48	115	63	152	78	189	94	228	108	263
0.075		45	108	70	169	92	224	117	285	150	366	167	407
0.1	1000	58	140	95	231	126	307	156	381	205	500	222	542
0.15		74	179	130	317	185	452	229	559	287	701	315	769
0.2	1500	85	206	166	405	243	593	305	744	368	897	402	980
0.3		108	263	227	554	330	805	448	1091	502	1221	573	1392
0.4		130	317	278	679	397	968	564	1370	631	1531	696	1686

Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 4	FECHA :	27/11/2012

Gráfica Esfuerzo vs Penetración



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS:

Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO :

Estrato I

UBICACIÓN:

Cerro Colorado

CALICATA :

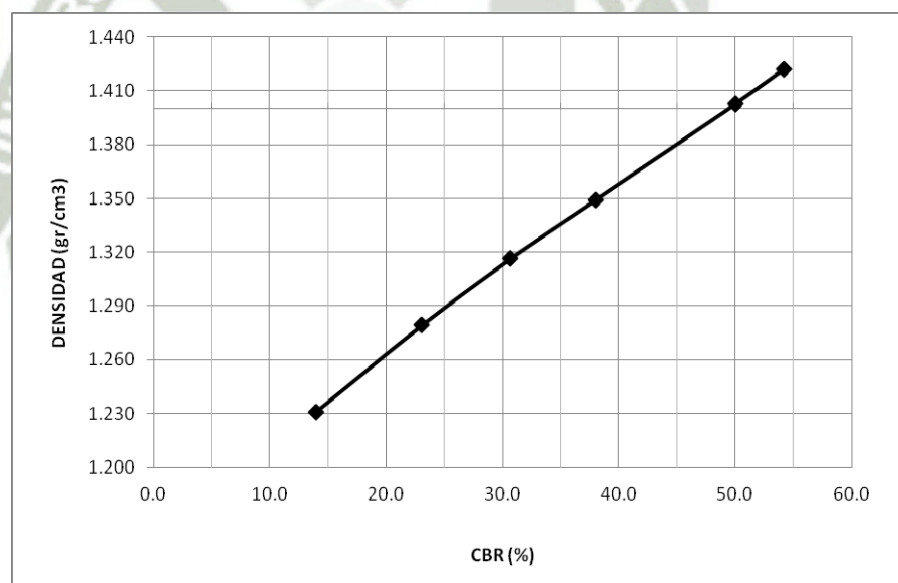
Calicata 4

FECHA :

27/11/2012

Número de Golpes	CBR (%) 0.1"	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
5 GOLFES	14.0	1.231
15 GOLFES	23.1	1.279
25 GOLFES	30.7	1.317
35 GOLFES	38.1	1.349
45 GOLFES	50.0	1.403
55 GOLFES	54.2	1.422

DENSIDAD - CBR



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 5 **FECHA :** 27/11/2012

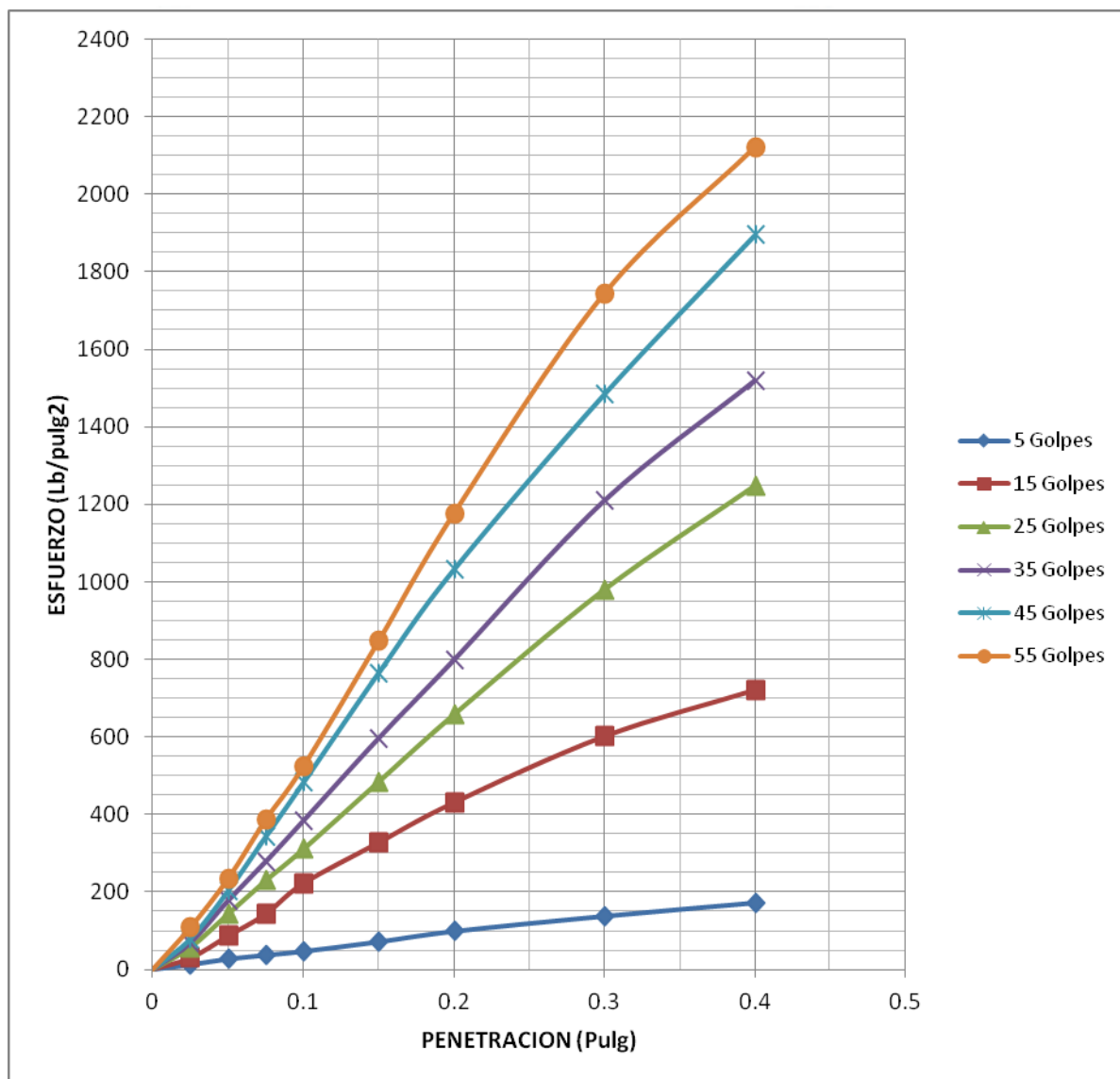
Nº GOLPES	5		15		25		35		45		55		
Condición. de Muestra	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	
Volumen de molde (cm ³)	2129.7	2129.7	2128.9	2128.9	2064.1	2064.1	2034.5	2034.5	2122.2	2122.2	2131.7	2131.7	
Peso de molde+suelo (gr)	11180.0	11436.0	11445.0	11651.0	10421.0	10585.0	11805.0	12060.0	11934.0	11970.0	11949.0	11892.0	
Peso de molde (gr)	8107.0	8107.0	8153.0	8153.0	7161.0	7161.0	8512.0	8512.0	8406.0	8406.0	8334.0	8334.0	
peso de suelo compact. (gr)	3073.0	3329.0	3292.0	3498.0	3260.0	3424.0	3293.0	3548.0	3528.0	3564.0	3615.0	3558.0	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.443	1.563	1.546	1.643	1.579	1.659	1.619	1.744	1.662	1.679	1.696	1.669	
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD													
Recipiente Nº	M-1		M-2		M-3		M-4		M-5		M-6		
Peso suelo húmedo (gr)	350.00	300.00	350.00	300.00	350.00	300.00	350.00	300.00	350.00	300.00	350.00	300.00	
Peso de suelo seco (gr)	288.30	237.30	287.50	238.00	288.30	239.30	288.40	241.90	289.00	243.50	287.40	244.20	
Peso de tara (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Peso de agua (gr)	61.70	62.70	62.50	62.00	61.70	60.70	61.60	58.10	61.00	56.50	62.60	55.80	
Peso de suelo seco (gr)	288.30	237.30	287.50	238.00	288.30	239.30	288.40	241.90	289.00	243.50	287.40	244.20	
Conten. de humedad (%)	21.40	26.42	21.74	26.05	21.40	25.37	21.36	24.02	21.11	23.20	21.78	22.85	
DETERMINACION DE LA DENSIDAD SECA													
Densidad seca (gr/cm ³)	1.189	1.236	1.270	1.304	1.301	1.323	1.334	1.406	1.373	1.363	1.393	1.359	
PENETRACION													
Penetracion	Presión	Molde Nº 01		Molde Nº 02		Molde Nº 03		Molde Nº 04		Molde Nº 05		Molde Nº 06	
Pulg.	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2
0.025		6	12	13	29	24	56	29	68	33	78	45	108
0.05		12	27	36	86	59	142	73	177	83	201	96	233
0.075		16	36	59	142	94	228	114	278	140	341	158	385
0.1	1000	20	46	91	221	127	309	157	383	197	481	214	522
0.15		30	71	134	327	198	483	244	596	313	764	347	846
0.2	1500	41	98	176	430	269	657	327	798	423	1031	483	1175
0.3		57	137	246	601	402	980	497	1209	611	1483	720	1744
0.4		71	172	295	720	513	1248	626	1519	783	1894	879	2121

Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 5	FECHA :	27/11/2012

Gráfica Esfuerzo vs Penetracion



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

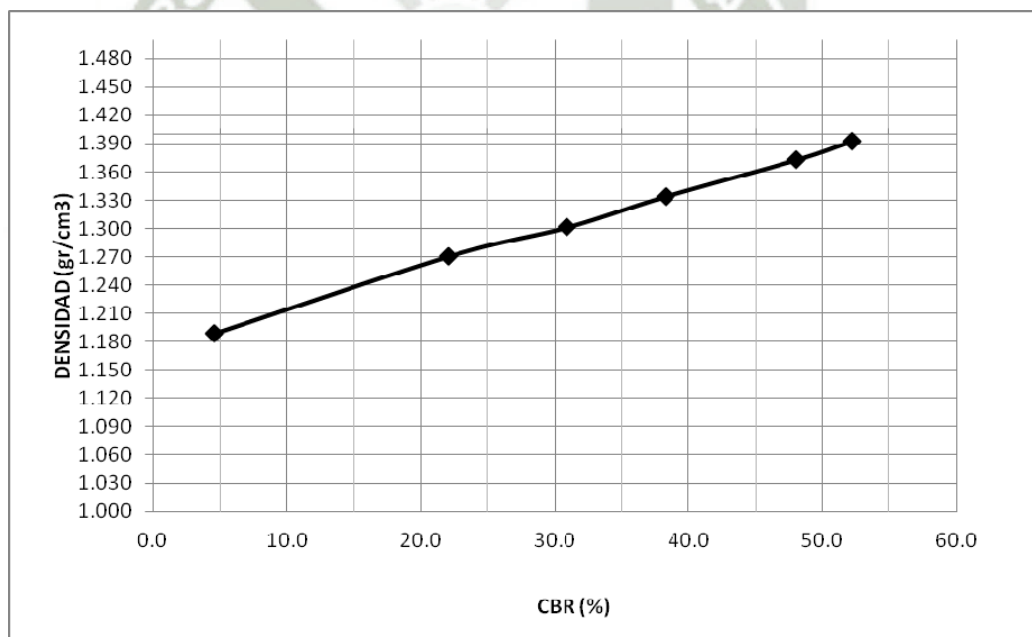
NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 5 **FECHA :** 27/11/2012

Número de Golpes	CBR (%) 0.1"	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
5 GOLFES	4.6	1.189
15 GOLFES	22.1	1.270
25 GOLFES	30.9	1.301
35 GOLFES	38.3	1.334
45 GOLFES	48.1	1.373
55 GOLFES	52.2	1.393

DENSIDAD - CBR



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** Cerro Colorado
CALICATA : Calicata 6 **FECHA :** 04/12/2012

Nº GOLPES	5		15		25		35		45		55		
Condición. de Muestra	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	
Volumen de molde (cm ³)	2129.7	2129.7	2034.5	2034.5	2122.2	2122.2	2128.9	2128.9	2064.1	2064.1	2131.7	2131.7	
Peso de molde+suelo (gr)	11173.0	11436.0	11536.0	12057.0	11638.0	12000.0	11587.0	11651.0	10543.0	10585.0	11892.0	11973.0	
Peso de molde (gr)	8107.0	8107.0	8512.0	8512.0	8406.0	8406.0	8153.0	8153.0	7161.0	7161.0	8334.0	8334.0	
peso de suelo compact. (gr)	3066.0	3329.0	3024.0	3545.0	3232.0	3594.0	3434.0	3498.0	3382.0	3424.0	3558.0	3639.0	
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.440	1.563	1.486	1.742	1.523	1.694	1.613	1.643	1.638	1.659	1.669	1.707	
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD													
Recipiente Nº	M-1		M-2		M-3		M-4		M-5		M-6		
Peso suelo húmedo (gr)	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	
Peso de suelo seco (gr)	247.90	236.40	247.80	238.30	247.80	239.80	247.90	242.30	247.80	245.30	247.80	246.00	
Peso de tara (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Peso de agua (gr)	52.10	63.60	52.20	61.70	52.20	60.20	52.10	57.70	52.20	54.70	52.20	54.00	
Peso de suelo seco (gr)	247.90	236.40	247.80	238.30	247.80	239.80	247.90	242.30	247.80	245.30	247.80	246.00	
Conten. de humedad (%)	21.02	26.90	21.07	25.89	21.07	25.10	21.02	23.81	21.07	22.30	21.07	21.95	
DETERMINACION DE LA DENSIDAD SECA													
Densidad seca (gr/cm ³)	1.190	1.232	1.228	1.384	1.258	1.354	1.333	1.327	1.353	1.356	1.379	1.400	
PENETRACION													
Penetracion	Presión	Molde Nº 01		Molde Nº 02		Molde Nº 03		Molde Nº 04		Molde Nº 05		Molde Nº 06	
Pulg.	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2	Dial	Lb/pulg.2
0.025		6	12	15	34	19	44	23	54	35	83	46	110
0.05		10	22	26	61	43	103	69	167	83	201	97	236
0.075		15	34	39	93	67	162	112	273	133	324	146	356
0.1	1000	18	41	54	130	90	219	160	390	181	442	203	496
0.15		27	64	79	192	125	305	238	581	277	676	316	771
0.2	1500	35	83	102	248	157	383	318	776	373	909	418	1018
0.3		50	120	143	349	216	527	464	1130	511	1243	569	1382
0.4		62	150	184	449	264	644	568	1380	635	1541	687	1665

Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS:

Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del
Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos
Zona De Cerro Colorado

ESTRATO :

Estrato I

UBICACIÓN:

Cerro Colorado

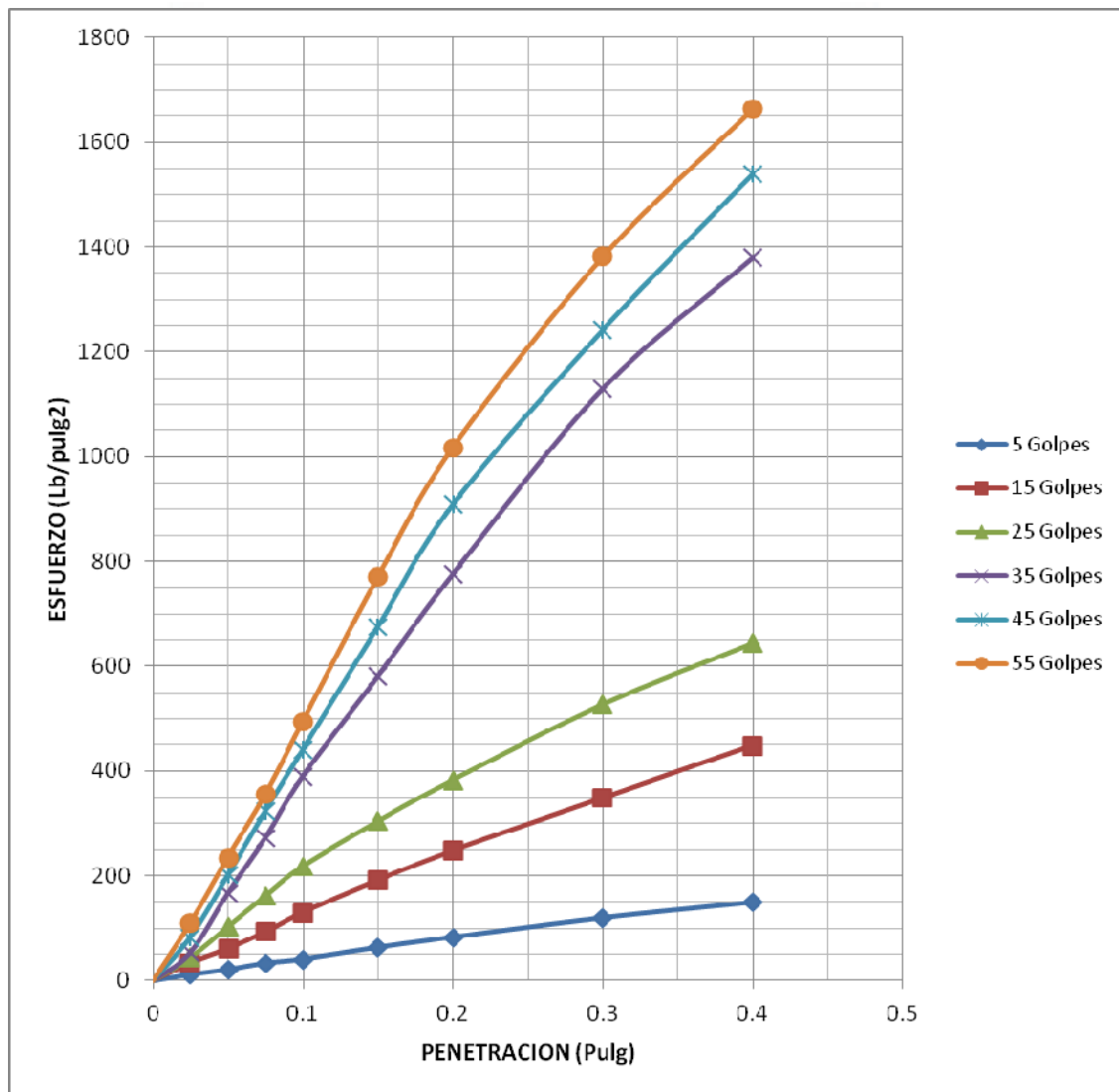
CALICATA :

Calicata 6

FECHA :

04/12/2012

Gráfica Esfuerzo vs Penetracion



Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS ENSAYO DE CBR

NOMBRE DE TESIS:

Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO :

Estrato I

UBICACIÓN:

Cerro Colorado

CALICATA :

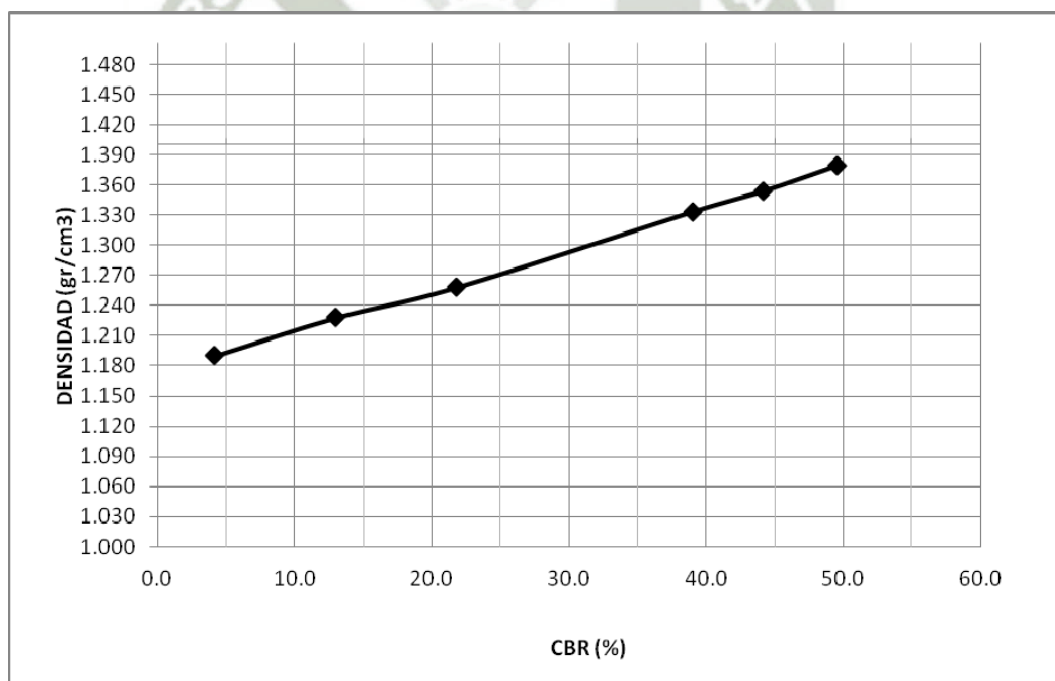
Calicata 6

FECHA :

04/12/2012

Número de Golpes	CBR (%) 0.1"	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
5 GOLFES	4.1	1.190
15 GOLFES	13.0	1.228
25 GOLFES	21.9	1.258
35 GOLFES	39.0	1.333
45 GOLFES	44.2	1.353
55 GOLFES	49.6	1.379

DENSIDAD - CBR



Fuente: Elaboración propia

Interpretación de datos y gráficos

Cada ensayo de CBR brinda datos importantes y significativos para el desarrollo de la tesis. Por ello, se precisa cada uno de los cuadros y gráficos.

- Cuadro 1: En la primera parte, se detalla el proceso para poder hallar las densidades secas de cada uno de los moldes que se ensayaron con sus respectivas humedades. En la segunda parte, se dan a conocer las lecturas que se obtuvieron del dial del anillo de carga para cada una de las penetraciones indicadas en la norma y se realiza la conversión a Lb/pulg², considerando la ecuación de la calibración propia de cada equipo de CBR y el área del pistón.

Para este caso en particular, se tuvo la siguiente ecuación de calibración de equipo: $y = -0.00008x^2 + 3.359x - 4.205$, donde y: Fuerza (kgf); x: Valores del dial.

- Gráfica Esfuerzo vs. Deformación: Aquí se describe cómo se comporta el suelo ensayado con respecto al esfuerzo que el pistón realizó para la penetración requerida para cada uno de los diferentes ensayos, a 5, 15, 25, 35, 45 y 55 golpes. De esta gráfica se puede obtener el dato del % de CBR a 0.1" visualmente.
- Gráfica de Densidad – CBR: En esta gráfica se demuestra cómo el % CBR a 0.1", según lo indicado por la norma, se comporta frente a la densidad seca (gr/cm³). Para cuando se requiera el dato de CBR al 95%, se puede recurrir a esta gráfica.

4.2.8. Ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) (*Dynamic Cone Penetrometer*) (Norma ASTM D 6351)

El ensayo de DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) o también conocido en nuestro ámbito como DPL (Penetrómetro Dinámico Ligero) es un ensayo que hoy en día solo en algunas obras viales se viene utilizando para la obtención del CBR (California Bearing Ratio o Razón de Soporte de California), observándose entonces que aún existe un desconocimiento en el uso de este instrumento muy práctico y de gran ayuda en el propósito de economizar tiempo.

En este punto, se exponen conceptos resaltantes sobre el DCP desde sus orígenes hasta los estudios más recientes.

Origen del DCP

Tomando en consideración la bibliografía de la que se dispone, se obtuvieron los siguientes datos a tomar en cuenta sobre el origen y el propósito por el que fue desarrollado el DCP.

El DCP, también conocido como el Penetrómetro Scala, se desarrolló en 1956 en Sudáfrica con el propósito de realizar *in situ* la evaluación de pavimentos para determinar el CBR (Razón de soporte de California) (Scala, 1956). Desde entonces, este dispositivo ha sido utilizado ampliamente en Sudáfrica, el Reino Unido, los Estados Unidos, Australia y muchos otros países, debido a la excelente portabilidad, la simplicidad, la rentabilidad y la capacidad de proporcionar una medición rápida de la resistencia *in situ* de las capas del pavimento.

*Posibles aplicaciones de los penetrómetros dinámicos y estáticos
de cono en el diseño de pavimentos y construcción.*

*Farshad Amini, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad
Estatad de Jackson*

El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) fue desarrollado en Sudáfrica (Van Vuuren, 1969) en un esfuerzo por estimar en forma simple la capacidad de soporte *in situ* de los materiales de subrasante y capas que conforman el pavimento. Los resultados obtenidos con el PDC fueron correlacionados con parámetros de resistencia, tales como la Capacidad de Soporte de California y la Compresión Simple.

En el Perú, García y Gutiérrez (1987) introdujeron este equipo en los estudios del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

*Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio de un
equipo de penetración dinámica.*

Carlos A. Tupia Córdova, Jorge E. Alva Hurtado

El desarrollo inicial del concepto de DCP fue reportado por Scala, en Australia, en 1956. En la década de 1960, Van Vuuren, en Sudáfrica, desarrolló un aparato nuevo e informó de este dispositivo en 1969. Este innovador instrumento era más pesado que el de Scala y la caída de la altura era un poco más corta.

*La mejora y validación de Mn / Dot DCP: Especificaciones para los
agregados de base y selección granular.*

Office of Materials

Minnesota Department of Transportation

Concluyendo, los autores no se ponen de acuerdo en quién desarrolló por primera vez el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP, PDC o DPL), pero en lo que concuerdan es en que su origen se sitúa en Sudáfrica, y en que se diseñó para poder determinar *in situ* la capacidad de soporte.

Penetrómetro Dinámico de Cono

Para permitir un mejor estudio, ofreceremos una síntesis del procedimiento y algunos puntos resaltantes del Penetrómetro Dinámico de Cono.

PROCEDIMIENTO

- Se realiza una nivelación de la zona donde se ensayará, sea en una calicata o nivel de piso.
- El operador verifica que el DCP esté bien armado y acoplado.
- Se introduce la punta del DCP en el suelo, levantando el mazo deslizante hasta la empuñadura y soltándolo luego.
- Se realiza la primera medida y se continúa con el mismo

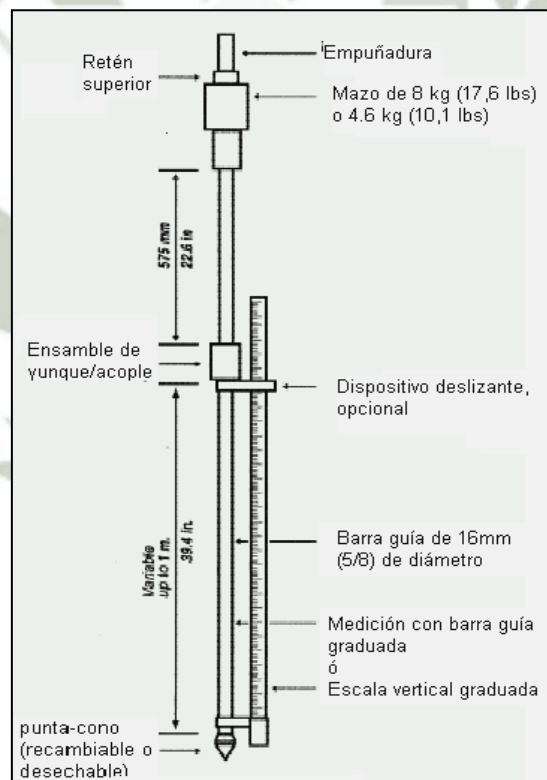
procedimiento, poniendo las anotaciones en mm/golpe, lo cual nos sirve para describir la capacidad de soporte del suelo para estimar el CBR *in situ*.

- Para poder realizar la estimación de CBR, se utiliza una correlación apropiada.

PUNTOS RESALTANTES

Con respecto al DCP, se dispone de generalidades para el instrumento, y de ellas destacamos las siguientes:

Figura 4.1 - Esquema DCP



Fuente: Norma ASTM D 6351 - Método de ensayo estándar para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en estructuras de pavimentos

- Mazo de 8 kg.
- Barra guía
- Punta de cono
- Escala de medición
- ✓ Datos:
- ✓ Energía potencial del mazo sobre la barra que conecta a la punta de cono.
- ✓ $E_p = mgh \Rightarrow wh$
- $E_p = 8 \text{ kgf} * 0.575 \text{ m.}$
- $E_p = 4.6 \text{ Joule (kg*m}^2\text{/s}^2\text{)}$
- Para mayor información, se anexa la norma.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DEL DCP

TABLA 4.1 - RESULTADOS FINALES DE DENSIDADES – DCP

	Densidad Seca	Índice DCP Final
CALICATA 1	1.320	5
	1.320	5
	1.320	5
CALICATA 2	1.376	3
	1.376	3
	1.376	3
CALICATA 3	1.314	6
	1.314	6
	1.314	6
CALICATA 4	1.268	11
	1.268	11
	1.268	11
CALICATA 5	1.339	5
	1.339	5
	1.339	5
CALICATA 6	1.336	6
	1.336	6
	1.336	6

DENSIDAD 1	1.195	38
	1.195	38
	1.195	38
DENSIDAD 2	1.200	32
	1.200	32
	1.200	32
DENSIDAD 3	1.220	24
	1.220	23
	1.220	24
DENSIDAD 4	1.240	18
	1.240	18
	1.240	18
DENSIDAD 5	1.260	13
	1.260	13
	1.260	13
DENSIDAD 6	1.290	8
	1.290	8
	1.290	8

Fuente: Elaboración propia

Los ensayos son anexados al final de la tesis.

4.2.9. Ensayo de CBR en el Terreno (CBR *IN SITU*) MTC E 133 - 2000

Según la norma, el estudio del CBR (California Bearing Ratio o Razón de Soporte de California) en el terreno tiene como finalidad determinar la relación de soporte CBR *in situ*, mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia.

Este ensayo se realiza para dar verificación a la investigación, ya que brinda datos obtenidos en campo, para su comparación con los resultados obtenidos en la investigación. A continuación se detallara algunos alcances resaltantes sobre este ensayo.

- El ensayo es muy similar al de laboratorio con la novedad que para

realizar el CBR de campo, se requirió un camión con un peso mínimo de, 31 kN (6970 lb), en el eje posterior.

- Las lecturas se dieron según corresponde, para dar un resultado a 2,54 mm (0,100") y 5,08 mm (0,200").
- Para poder hallar la densidad del suelo ensayado se, realizó el ensayo de cono de arena.

Todos los resultados obtenidos se detallan a continuación:



ESTUDIO DE SUELOS

CBR EN CAMPO

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN:** PIRS - Cerro Colorado

CALICATA : Punto I **FECHA :** 16/12/2012

ITEM	DESCRIPCION		1
1	PESO SUELO + BANDEJA	gr.	3129.0
2	PESO BANDEJA	gr.	190.0
3	PESO NETO SUELO + GRAVA	gr.	2939.0
4	PESO GRAVA SECADA AL AIRE		0.0
5	PESO DE ARENA + FRASCO	gr.	7768.0
6	PESO DE ARENA QUEDADA + FRASCO	gr.	2934.0
7	PESO DE ARENA EN CONO	gr.	1720.0
8	PESO NETO DE ARENA EMPLEADA	gr.	3114.0
9	DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm ³	1.5
10	VOLUMEN DEL HUECO	cm ³	2076.0
11	VOLUMEN GRAVA POR DESPLAZAMIENTO	cm ³	0.0
12	PESO DEL SUELO	gr.	2939.0
13	VOLUMEN DEL SUELO	cm ³	2076.0
14	DENSIDAD HUMEDA	gr./cm ³	1.416
15	PORCENTAJE DE HUMEDAD		6.35
16	DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.331

HUMEDAD

PESO DE MUESTRA HUMEDA+ TARA	gr	300.00
PESO DE MUESTRA SECA + TARA	gr	282.10
PESO DE TARA	gr	0.00
HUMEDAD	%	6.35

Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO:	Estrato I	UBICACIÓN:	N: Cerro Colorado
CALICATA:	Calicata VERIFICACION	FECHA :	15/12/2012

Densidad Seca	1.331	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACION ACUMULADA (cm)	PENETRACION ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	INDICE DCP (mm/golpe)	INDICE ACUMULADO
1	95.5	0	1	0	0
1	95.0	5	1	5	5
1	94.5	5	1	5	10
1	93.9	6	1	6	16
1	93.4	5	1	5	21
1	92.9	5	1	5	26
1	92.4	5	1	5	31
1	91.8	6	1	6	37
1	91.3	5	1	5	42
1	90.7	6	1	6	48
1	90.3	4	1	4	52
1	89.8	5	1	5	57
1	89.3	5	1	5	62
1	88.8	5	1	5	67
1	88.2	6	1	6	73
1	87.6	6	1	6	79
1	87.1	5	1	5	84
1	86.6	5	2	5	89
1	86.2	4	3	4	93
1	85.7	5	4	5	98

Índice DCP Final	5
-------------------------	---

Fuente: Elaboración propia

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA:	Calicata VERIFICACION	FECHA :	15/12/2012

Densidad Seca	1.331	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACION ACUMULADA (cm)	PENETRACION ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	INDICE DCP (mm/golpe)	INDICE ACUMULADO
1	94.1	0	1	0	0
1	93.1	10	1	10	10
1	92.6	5	1	5	15
1	92.1	5	1	5	20
1	91.5	6	1	6	26
1	91.0	5	1	5	31
1	90.6	4	1	4	35
1	90.1	5	1	5	40
1	89.6	5	1	5	45
1	89.2	4	1	4	49
1	88.7	5	1	5	54
1	88.2	5	1	5	59
1	87.7	5	1	5	64
1	87.3	4	1	4	68
1	86.8	5	1	5	73
1	86.3	5	1	5	78
1	85.4	9	1	9	87
1	84.9	5	2	5	92
1	84.3	6	3	6	98
1	83.8	5	4	5	103

Índice DCP Final	5
-------------------------	----------

Fuente: Elaboración propia

4.2.10. Propiedades volumétricas y gravimétricas de los suelos

Las principales propiedades volumétricas y gravimétricas son las siguientes:

- Densidad relativa: Nos indica que el suelo natural está suelto cuando se tienen valores bajos; en caso de que esté denso, el suelo se expresa con valores altos.

$$Dr = ((\gamma_{nat} - \gamma_{min}) / (\gamma_{max} - \gamma_{min})) * (\gamma_{max} / \gamma_{nat})$$

○ γ_{nat} : Densidad natural γ_{min} : Densidad mín. γ_{max} : Densidad máx.

- Relación de Vacíos o Índice de Poros (e) y Porosidad (n): Son parámetros adimensionales. El primero relaciona el volumen de los vacíos y el de los sólidos de un suelo. El segundo parámetro (Porosidad) relaciona el volumen de vacíos y el volumen de la masa de un suelo.

$$e = (\gamma_{esp.} - \gamma_{nat}) / \gamma_{Nat}$$

$$n = (e / 1 + e) * 100$$

○ $\gamma_{esp.}$: Peso específico γ_{nat} : densidad natural

- Peso Específico Saturado: Relaciona el peso total del suelo saturado y el volumen total saturado.

$$\gamma_{sat} = (\gamma_w e + \gamma_{esp.}) / (1 + e)$$

○ γ_w : Peso específico del agua

TABLA 4.2 - Cuadro de las propiedades volumétricas y gravimétricas de los suelos estudiados

Calicata	Gravedad Específica	Densidad Natural (gr/cm ³)	Densidad Mínima (gr/cm ³)	Densidad Máxima (gr/cm ³)	Densidad Relativa (%)	Índice de vacíos (e)	Porosidad (n) %	Peso específico saturado (gr/cm ³)
Calicata 1	2.329	1.320	1.180	1.395	69	0.76	43.32	1.753
Calicata 2	2.280	1.376	1.201	1.412	85	0.66	39.65	1.772
Calicata 3	2.406	1.314	1.194	1.391	65	0.83	45.39	1.768
Calicata 4	2.269	1.268	1.188	1.432	37	0.78	44.12	1.709
Calicata 5	2.280	1.339	1.124	1.377	87	0.70	41.27	1.752
Calicata 6	2.282	1.309	1.118	1.359	82	0.74	42.64	1.735

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO V



5. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELOS Y LA CAPACIDAD DE SOPORTE OBTENIDOS DE DCP Y CBR

Los resultados obtenidos se dieron en dos momentos. El primero corresponde a los ensayos en campo (el DCP y la densidad de campo). El segundo se desarrolla en el laboratorio, con los siguientes ensayos: Análisis Granulométrico, Humedad Natural, Próctor Modificado, Gravedad Específica y CBR.

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos realizados.

5.1. ANALISIS ESTADÍSTICO

Análisis Granulométrico

Resultados de las seis zonas:

TABLA 5.1 - Resumen análisis granulométrico

CALICATA 1		CALICATA 2		CALICATA 3		CALICATA 4		CALICATA 5		CALICATA 6	
FRACCIONES		FRACCIONES		FRACCIONES		FRACCIONES		FRACCIONES		FRACCIONES	
GRAVA	4.43%	GRAVA	3.04%	GRAVA	2.88%	GRAVA	5.68%	GRAVA	2.34%	GRAVA	1.22%
ARENA	59.81%	ARENA	61.78%	ARENA	59.52%	ARENA	62.38%	ARENA	64.40%	ARENA	73.03%
FINOS	35.76%	FINOS	35.18%	FINOS	37.60%	FINOS	31.94%	FINOS	32.26%	FINOS	25.75%
CLASIFICACIÓN		CLASIFICACIÓN		CLASIFICACIÓN		CLASIFICACIÓN		CLASIFICACIÓN		CLASIFICACIÓN	
SUCS	SM	SUCS	SM	SUCS	SM	SUCS	SM	SUCS	SM	SUCS	SM
AASHTO	A-4	AASHTO	A-4	AASHTO	A-5	AASHTO	A-2-4	AASHTO	A-2-4	AASHTO	A-2-4

Fuente: Elaboración propia

Determinación del contenido de humedad de un suelo

Resultados de las seis zonas:

TABLA 5.2 - Resumen determinación del contenido de humedad de un suelo

CALICATA 1	CALICATA 2	CALICATA 3	CALICATA 4	CALICATA 5	CALICATA 6
14.37%	12.95%	17.19%	7.86%	8.67%	8.37%

Fuente: Elaboración propia

Gravedad Específica

Resultados de las seis zonas:

TABLA 5.3 - Resumen de la gravedad Específica

GRAVEDAD ESPECÍFICA					
CALICATA 1	CALICATA 2	CALICATA 3	CALICATA 4	CALICATA 5	CALICATA 6
2.329	2.28	2.406	2.269	2.28	2.282

Fuente: Elaboración propia

Densidad de Campo

Resultados de las seis zonas:

TABLA 5.4 - Resumen de la densidad de campo

	DENSIDAD DE CAMPO (gr/cm ³)					
	CALICATA 1	CALICATA 2	CALICATA 3	CALICATA 4	CALICATA 5	CALICATA 6
Densidad seca	1.32	1.376	1.314	1.268	1.339	1.309

Fuente: Elaboración propia

Próctor Modificado

TABLA 5.5 - Resumen del ensayo de Próctor Modificado

	CALICATA 1	CALICATA 2	CALICATA 3	CALICATA 4	CALICATA 5	CALICATA 6
Densidad máxima (gr/cm ³)	1.386	1.387	1.382	1.439	1.392	1.385
Humedad óptima	21.16%	21.21%	21.46%	20.67%	21.36%	21.03%

Fuente: Elaboración propia

5.2. COMPARACIÓN DE VALORES DE CBR REPRESENTATIVO

Como se realizó el estudio de seis calicatas en distintos lugares, se procedió a realizar los ensayos de CBR con la siguiente metodología de trabajo:

Se tomó en consideración que, para un mejor estudio, la compactación debía ser cada 10 golpes (a 5, 15, 25, 35, 45, 55 golpes), y con este proceso se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 5.6 - Comparación de CBR

COMPARACIÓN DE CBR								
CALICATA 1			CALICATA 2			CALICATA 3		
N° de Golpes	CBR %	DENSIDAD	N° de Golpes	CBR%	DENSIDAD	N° de Golpes	CBR %	DENSIDAD
5 GOLPES	6.10	1.204	5 GOLPES	6.35	1.204	5 GOLPES	3.89	1.195
15 GOLPES	18.17	1.262	15 GOLPES	18.91	1.266	15 GOLPES	17.19	1.254
25 GOLPES	27.75	1.297	25 GOLPES	27.75	1.302	25 GOLPES	25.79	1.291
35 GOLPES	35.60	1.332	35 GOLPES	35.85	1.332	35 GOLPES	34.38	1.325
45 GOLPES	42.22	1.357	45 GOLPES	42.71	1.363	45 GOLPES	41.48	1.358
55 GOLPES	48.82	1.388	55 GOLPES	48.34	1.387	55 GOLPES	47.60	1.384

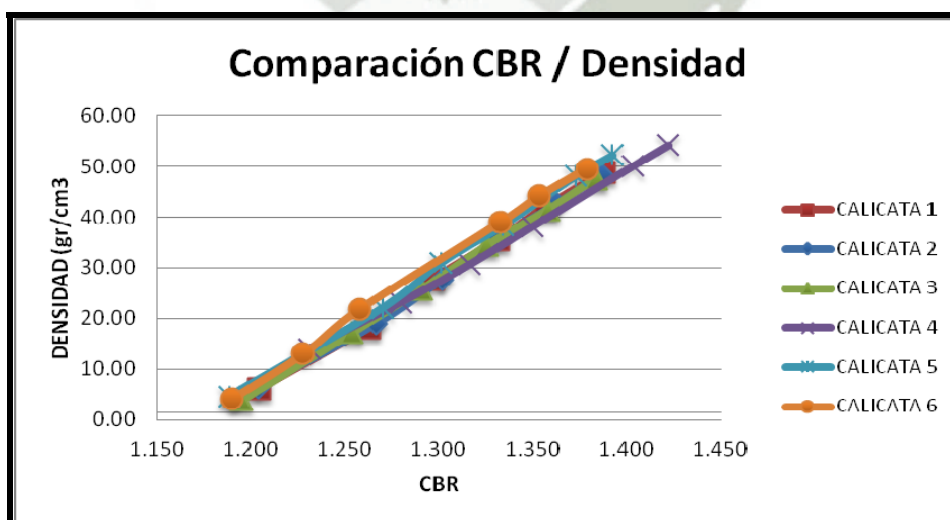
Fuente: Elaboración propia

COMPARACION DE CBR								
CALICATA 4			CALICATA 5			CALICATA 6		
N° de Golpes	CBR	DENSIDAD	N° de Golpes	CBR	DENSIDAD	N° de Golpes	CBR	DENSIDAD
5 GOLPES	13.99	1.231	5 GOLPES	4.63	1.189	5 GOLPES	4.13	1.190
15 GOLPES	23.09	1.279	15 GOLPES	22.10	1.270	15 GOLPES	13.00	1.228
25 GOLPES	30.70	1.317	25 GOLPES	30.95	1.301	25 GOLPES	21.86	1.258
35 GOLPES	38.06	1.349	35 GOLPES	38.30	1.334	35 GOLPES	39.04	1.333
45 GOLPES	50.05	1.403	45 GOLPES	48.09	1.373	45 GOLPES	44.18	1.353
55 GOLPES	54.20	1.422	55 GOLPES	52.25	1.393	55 GOLPES	49.56	1.379

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de los CBR, procedemos a graficar los puntos, con lo que se obtiene lo siguiente:

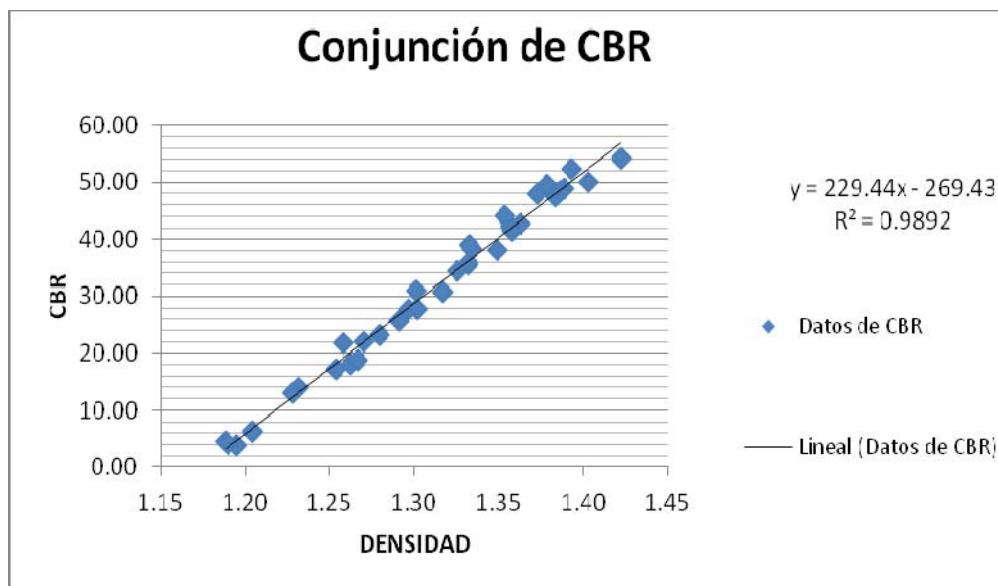
Grafico 5.1 – Comparación de CBR y Densidad



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que los puntos de los CBR son muy semejantes unos de otros, procedemos a realizar una línea de tendencia, con la ayuda de un software especializado en ello, para poder obtener una ecuación que ayude a relacionar conjuntamente todos los CBR.

Grafico 5.2 - Conjunción de CBR



Fuente: Elaboración propia

Con esta línea de tendencia creada, obtenemos la siguiente ecuación, que servirá para el desarrollo de la tesis:

Ecuación 5.1 – Ecuación de CBR

$$\text{CBR} = 229.44 \text{ DS} - 269.43$$

Donde: DS – Densidad Seca

CAPÍTULO VI



6. ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN DE CORRELACIÓN Y VERIFICACION DE RESULTADO

6.1. ANÁLISIS MATEMÁTICO DE LA CORRELACIÓN

En este capítulo se desarrolla el proceso que se siguió para poder correlacionar el DCP con el CBR. A este fin, se dispone de los siguientes datos de las lecturas del DCP hechas en campo y en laboratorio, con respecto a sus respectivas densidades secas:

TABLA 6.1 - Resultados finales de densidades – DCP

	Densidad Seca	Índice DCP Final
CALICATA 1	1.320	5
	1.320	5
	1.320	5
CALICATA 2	1.376	3
	1.376	3
	1.376	3
CALICATA 3	1.314	6
	1.314	6
	1.314	6
CALICATA 4	1.268	11
	1.268	11
	1.268	11
CALICATA 5	1.339	5
	1.339	5
	1.339	5
CALICATA 6	1.309	6
	1.309	6
	1.309	6
DENSIDAD 1	1.195	38
	1.195	38
	1.195	38
DENSIDAD 2	1.200	32
	1.200	32
	1.200	32
DENSIDAD 3	1.220	24
	1.220	23
	1.220	24

DENSIDAD 4	1.240	18
	1.240	18
	1.240	18
DENSIDAD 5	1.260	13
	1.260	13
	1.260	13
DENSIDAD 6	1.290	8
	1.290	8
	1.290	8

Fuente: Elaboración propia

Datos obtenidos en el ensayo del CBR en laboratorio.

TABLA 6.2 - Resumen de CBR obtenido en Laboratorio

	N° de Golpes	CBR	DENSIDAD SECA
CALICATA 1	5 GOLPES	6.10	1.204
	15 GOLPES	18.17	1.262
	25 GOLPES	27.75	1.297
	35 GOLPES	35.60	1.332
	45 GOLPES	42.22	1.357
	55 GOLPES	48.82	1.388
CALICATA 2	5 GOLPES	6.35	1.204
	15 GOLPES	18.91	1.266
	25 GOLPES	27.75	1.302
	35 GOLPES	35.85	1.332
	45 GOLPES	42.71	1.363
	55 GOLPES	48.34	1.387
CALICATA 3	5 GOLPES	3.89	1.195
	15 GOLPES	17.19	1.254
	25 GOLPES	25.79	1.291
	35 GOLPES	34.38	1.325
	45 GOLPES	41.48	1.358
	55 GOLPES	47.60	1.384
CALICATA 4	5 GOLPES	13.99	1.231
	15 GOLPES	23.09	1.279
	25 GOLPES	30.70	1.317
	35 GOLPES	38.06	1.349
	45 GOLPES	50.05	1.403
	55 GOLPES	54.20	1.422
CALICATA 5	5 GOLPES	4.63	1.189
	15 GOLPES	22.10	1.270
	25 GOLPES	30.95	1.301
	35 GOLPES	38.30	1.334
	45 GOLPES	48.09	1.373
	55 GOLPES	52.25	1.393

CALICATA 6	5 GOLPES	4.13	1.190
	15 GOLPES	13.00	1.228
	25 GOLPES	21.86	1.258
	35 GOLPES	39.04	1.333
	45 GOLPES	44.18	1.353
	55 GOLPES	49.56	1.379

Fuente: Elaboración propia

Los datos disponibles del CBR dieron como resultado la gráfica expuesta en la comparación de los valores del Capítulo V, de donde se obtuvo una línea de tendencia con la siguiente ecuación:

$$\text{CBR} = 229.44 \text{ DS} - 269.43$$

Donde: $y = \text{CBR}$

$x = \text{Densidad seca}$

Esta ecuación sirvió para definir una línea promedio, de donde se obtuvieron los datos de densidad seca que ayudó a correlacionar el CBR con el DCP que se detalla a continuación.

TABLA 6.3 – Resultados obtenidos con la ecuación de CBR

	DENSIDAD SECA	CBR ($y = 229.44x - 269.43$)
DENSIDAD C2	1.376	46.28
DENSIDAD C5	1.332	36.18
DENSIDAD C1	1.320	33.43
DENSIDAD C3	1.314	32.05
DENSIDAD C6	1.309	30.91
DENSIDAD L6	1.290	26.55
DENSIDAD C4	1.268	21.50
DENSIDAD L5	1.260	19.66
DENSIDAD L4	1.240	15.08
DENSIDAD L3	1.220	10.49
DENSIDAD L2	1.200	5.90
DENSIDAD L1	1.195	4.75

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos, se correlacionan los puntos de DCP con los datos de CBR.

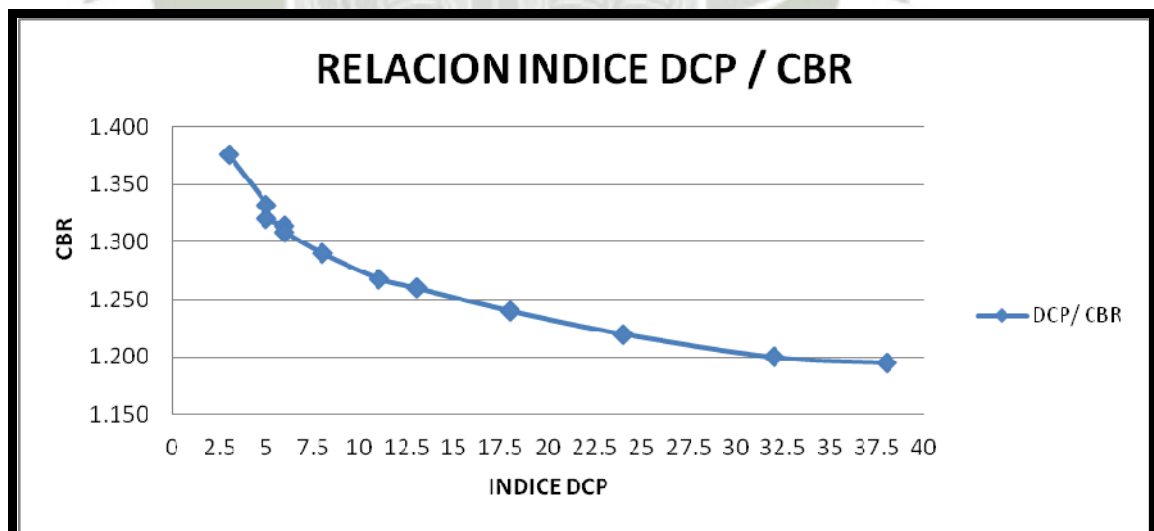
TABLA 6.4 - Cuadro de valores para correlación

DENSIDADES	Densidad Seca	Índice DCP Final	CBR (LABORATORIO - DENSIDAD)
DENSIDAD C2	1.376	3	46.3
DENSIDAD C5	1.339	5	36.2
DENSIDAD C1	1.320	5	33.4
DENSIDAD C3	1.314	6	32.1
DENSIDAD C6	1.309	6	30.9
DENSIDAD L6	1.290	8	26.5
DENSIDAD C4	1.268	11	21.5
DENSIDAD L5	1.260	13	19.7
DENSIDAD L4	1.240	18	15.1
DENSIDAD L3	1.220	24	10.5
DENSIDAD L2	1.200	32	5.9
DENSIDAD L1	1.195	38	4.8

Fuente: Elaboración propia

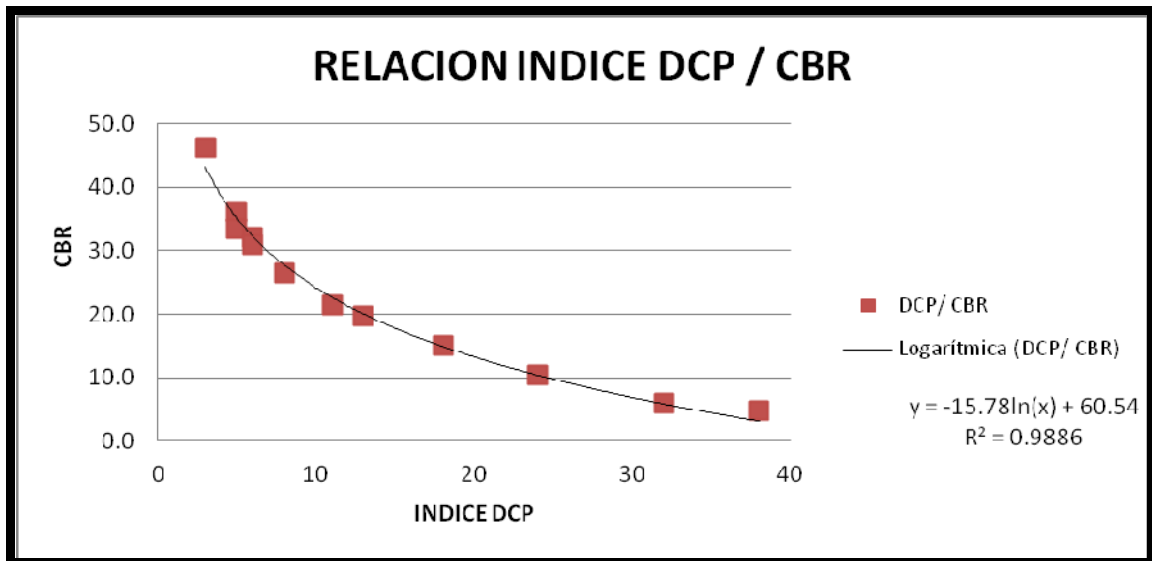
Habiéndose correlacionado los datos, se procede a graficarlos en el cuadro “Relación Índice de DCP / CBR”, para posteriormente crear una línea de tendencia que se detalla en la gráfica:

Grafico 6.1 – Relación DCP / CBR



Fuente: Elaboración propia

Grafico 6.2 – Relación DCP / CBR (Ecuación)



Fuente: Elaboración propia

Con todo el proceso ya ejecutado, se interpreta la línea de tendencia y su ecuación, la cual se detalla así:

ECUACIÓN DE CORRELACIÓN	$y = -15.78 \cdot \ln(x) + 60.54$
--------------------------------	---

Se prosigue interpretando la ecuación del DCP, que era el objetivo del estudio:

Ecuación 6.1 – Ecuación de correlación DCP - CBR

$CBR = -15.78 \cdot \ln(DCP) + 60.54$

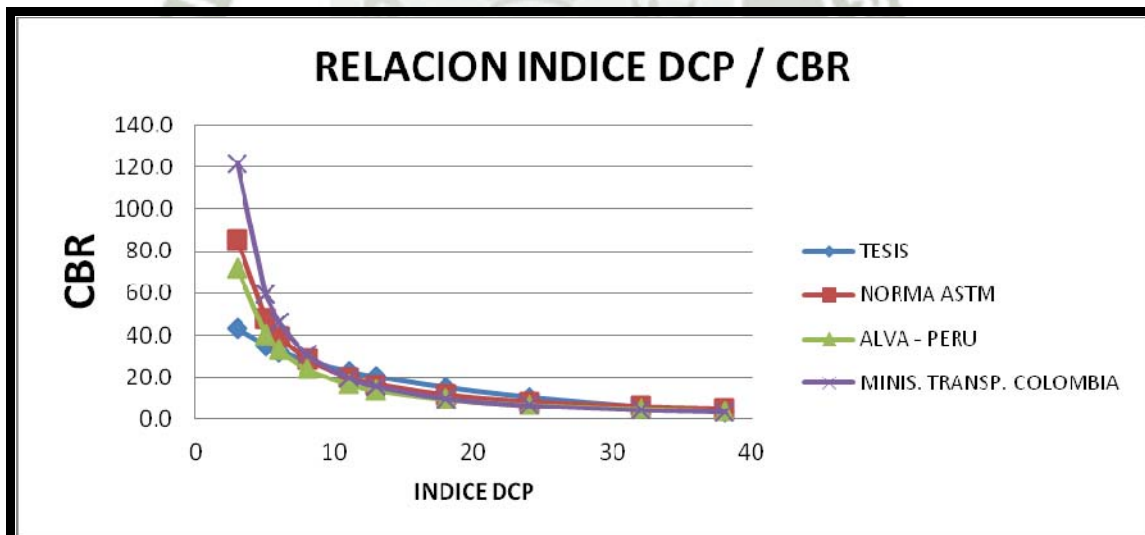
Ahora, realizando la comparación con algunas ecuaciones halladas anteriormente en otros estudios, se obtiene lo siguiente:

TABLA 6.5 – Comparación de resultados obtenidos en otros estudios

DENSIDADES	Densidad Seca	Índice DCP Final	CBR (LABORATORIO - DENSIDAD)	CBR (DPC TESIS)	CBR (Norma ASTM)	CBR (Estudio Alva-Perú)	CBR (Ministerio de transportes - Colombia)
DENSIDAD C2	1.376	3	46.3	43.2	85.3	72.1	121.8
DENSIDAD C5	1.339	5	36.2	35.1	48.1	40.5	59.6
DENSIDAD C1	1.320	5	33.4	35.1	48.1	40.5	59.6
DENSIDAD C3	1.314	6	32.1	32.3	39.3	33.0	46.1
DENSIDAD C6	1.309	6	30.9	32.3	39.3	33.0	46.1
DENSIDAD L6	1.290	8	26.5	27.7	28.4	23.9	30.9
DENSIDAD C4	1.268	11	21.5	22.7	19.9	16.7	19.8
DENSIDAD L5	1.260	13	19.7	20.1	16.5	13.8	15.6
DENSIDAD L4	1.240	18	15.1	14.9	11.5	9.6	9.9
DENSIDAD L3	1.220	24	10.5	10.4	8.3	6.9	6.6
DENSIDAD L2	1.200	32	5.9	5.9	6.0	5.0	4.4
DENSIDAD L1	1.195	38	4.8	3.1	5.0	4.1	3.5

Fuente: Elaboración propia

Grafico 6.3 – Relación DCP / CBR (Comparación con otros estudios)



Fuente: Elaboración propia

De los datos, se deduce que el estudio de la puzolana con el DCP (tema de la tesis) brinda datos muy aproximados con respecto a los otros estudios; pero tomemos en consideración que la puzolana es similar hasta un punto y

que no llega a los valores altos que proponen los demás estudios. Ello valida el hecho de que todos los suelos son diferentes respecto a sus propiedades.

6.2. VERIFICACION DE LA INVESTIGACION: CBR EN CAMPO – DCP

A continuación se detalla el resultado obtenido en campo del CBR y el resultado obtenido con el DCP mediante la fórmula de correlación.

ESTUDIO DE SUELOS CBR EN CAMPO

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN:	PIRS - Cerro Colorado
CALICATA :	Punto de VERIFICACION	FECHA :	15/12/2012

	DENSIDAD SECA (gr/cm³)	CBR (%) - Ensayo CBR en CAMPO	Numero DCP	CBR (%) - Ensayo DCP
PUNTO I	1.331	35.36	5	35.1430697

Con esta verificación se corrobora que los resultados de la investigación están en un margen aceptable, con respecto a la fórmula de correlación propuesta.

CONCLUSIONES

PRIMERA.- Realizada la investigación se verificó que el Penetrómetro dinámico de cono (DCP), como instrumento de medida del valor de CBR, aporta al estudio de suelos, un ensayo práctico por su facilidad de uso y por el tiempo que requiere para la obtención de resultados.

SEGUNDA.- Los ensayos en laboratorio y en campo fueron desarrollados siguiendo los procedimientos de la norma EM 2000 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para estudios de materiales, lo que los sustenta y les da validez al estudio realizado.

TERCERA.- Según el material que se estudie con el DCP, se deben tener en cuenta algunas precauciones, siendo la más relevante que, para suelos sueltos, no se recomienda el uso del DCP de 8 kg, porque existirá una variación en los datos obtenidos. No obstante, se pone en consideración que, según la norma, existe una variación para poder ejecutar el ensayo con un mazo de 4.6 kg.

CUARTA.- Habiéndose realizado 3 métodos de estudio, para la obtención de valores de CBR: CBR en Campo, CBR en laboratorio, CBR mediante el DCP; se concluye que el CBR

de campo es uno de los ensayos más precisos, pero que demanda de mayor inversión y tiempo en su ejecución; el CBR en laboratorio es el ensayo convencional para hallar este valor, pero requiere de la movilización de muestras y mayor tiempo en los diferentes procedimientos antes de la realización del ensayo; Por último el DCP materia de estudio demostró ser a nivel de inversión y tiempo un instrumento muy efectivo y veraz en sus resultados.

QUINTA.- La correlación obtenida en la presente tesis está dada para estudios de suelos puzolánicos del distrito de Cerro Colorado, por lo que, si se desea realizar un estudio con esta ecuación en otro tipo de suelo, se deberá realizar un ensayo de verificación.

SEXTA.- El DCP y la ecuación de correlación obtenida en el estudio, revelo que este instrumento es un gran apoyo para los profesionales dedicados a obras viales, trabajos de supervisión y control de calidad, porque demanda menos tiempo y tiene mucha facilidad en su operación

SETIMA.- En el total de la investigación se concluye que, los resultados obtenidos en el estudio realizado para los suelos

puzolánicos del distrito de Cerro Colorado – Arequipa, son veraces lo que se verificó con el ensayo de CBR en campo, la cual dio como resultado un valor aproximado al obtenido con la Ecuación de Correlación.

- OCTAVA.-** La puzolana es un material predominante en la zona norte de la ciudad de Arequipa, en el distrito de Cerro Colorado. La tesis desarrolló el estudio de las propiedades de este tipo de suelo, concluyendo que la puzolana en esta zona es un material relativamente homogéneo, salvo zonas donde existe presencia de arena fina u otros tipos de suelos.
- NOVENA.-** La puzolana, como suelo para cimentación o ejecución de obras civiles, es de acuerdo con sus propiedades, de condición regular; cabe precisar que el estudio de CBR en laboratorio, demuestra que este material no alcanza valores mayores al 50 % de índice CBR.
- DECIMA.-** Respecto a la puzolana, dentro del estudio es un material que por su predominancia de finos y al no presentar propiedades plásticas, su clasificación está considerada en gran parte como suelo limoso, al no existir algo bien definido con respecto a estos materiales volcánicos.

RECOMENDACIONES

- PRIMERA.-** El DCP, por ser un instrumento de peso ligero a comparación a otros, facilita que los ensayos de CBR *insitu*, se realicen de manera sencilla, cómoda y efectiva, por lo que se recomienda su uso.
- SEGUNDA.-** El DCP, de acuerdo a la aplicabilidad demostrada en el estudio, podría ser utilizado para obtener la densidad natural y otras propiedades de los suelos, por lo que se recomienda realizar futuros estudios en este aspecto.
- TERCERA.-** El DCP siendo un instrumento del que se comprobó su utilidad y funcionalidad en los suelos puzolánicos, se recomienda que sea material de estudio en otro tipo de suelos.
- CUARTA.-** Se sugiere, con respecto a las normas del MTC (EM 2000), que se verifiquen las restricciones y recomendaciones de cada ensayo para poder realizar un estudio en condiciones idóneas.
- QUINTA.-** Se recomienda el estudio de ensayos *in situ*, dado que estos nos proporcionan datos en menor tiempo, con

instrumentos que en muchos casos son versátiles y que, sobre todo, brindan datos aproximados a los datos de laboratorio.



BIBLIOGRAFÍA

- AMINI, Farshad. Posibles aplicaciones del Penetrómetro Dinámico y Estático de Cono en el diseño de pavimentos y construcción. Editorial Jackson State University. Mississippi. 2003.
- ASTM International. Método de ensayo estándar para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en estructuras de pavimentos. Editorial MOPT/GTZ. Estados Unidos. 2003.
- CHANG CHANG Luis. CBR (California Bearing Ratio). UNI. Perú. 2010.
- DÍAZ VALDIVIEZO, Alejandra; RAMÍREZ CARRIÓN, José. Compendio de rocas y minerales industriales en el Perú. INGEMMET. Lima - Perú. 2009.
- DÍAZ VALDIVIEZO, Alejandra; RAMÍREZ CARRIÓN, José. Estudio geológico – económico de rocas y minerales industriales de Arequipa y alrededores. INGEMMET. Lima – Perú. 2010.
- NAVARRO MARTÍNEZ, Dania; GÓMEZ GÓMEZ, Francisco. Correlaciones entre métodos convencionales y alternativos para estimar la resistencia y compactación de suelos. Editorial EIC. Costa Rica. 2004
- RONDÓN MORA, Fredy Samuel; ROJAS MENDOZA, Diana Rocío. Ensayo cualitativo simplificado para estimar el nivel de compactación de rellenos artificiales empleando maceta y puntero. Editorial Girardot. Colombia. 2008.
- SALAZAR, Alejandro. Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos. 3° Edición, Corporación Construir. Cali. 2002.

- TUPIA CÓRDOVA, Carlos; ALVA HURTADO, Jorge. Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica. Editorial XI Congreso Ibero-Latinoamericano del asfalto. Perú. 2001.
- VISCARRA AGREDA, Fabiana. El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos. Editorial UPB. Bolivia. 2006.
- JUÁREZ BADILLO, Eulalio, Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos. Limusa, 2005, México.

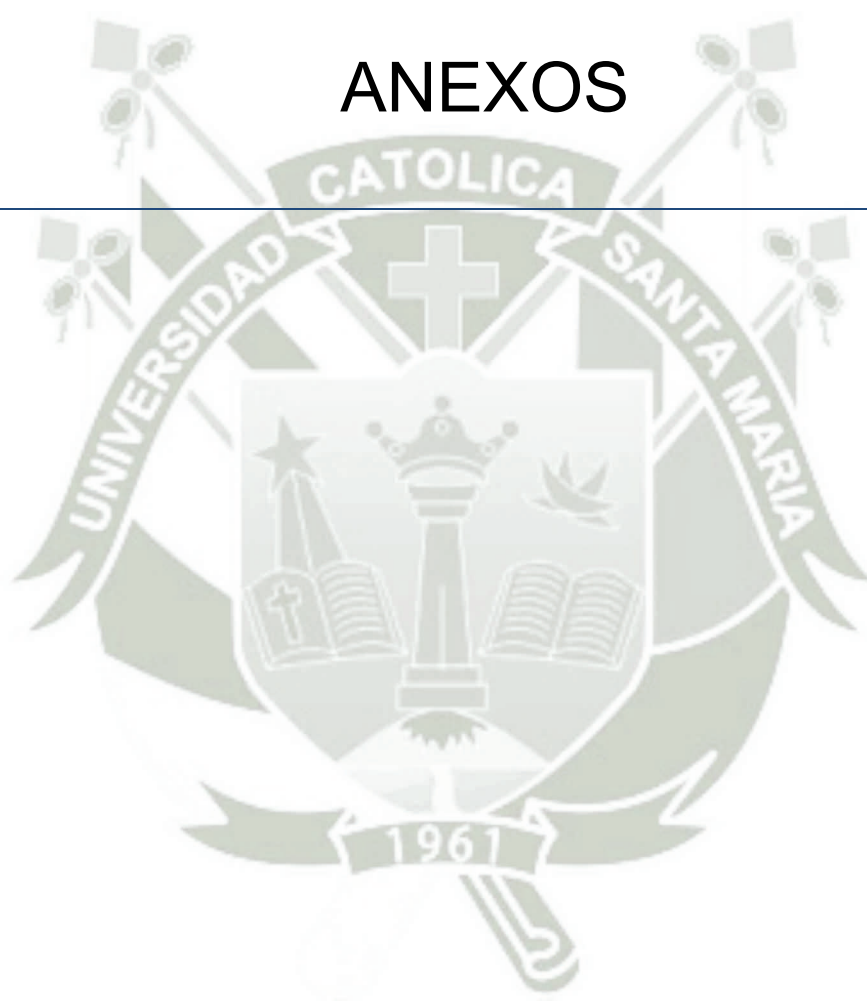


WEBGRAFÍA

- <http://www.puzolana.com.ar>
- http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/cemento/adicionado/cementos_portland_MGC07.PDF
- <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>
- http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020149023/1020149023_02.pdf
- <http://www.ing.unlp.edu.ar/constr/g1/RELACIONES%20VOLUMETRICA%20Y%20GRAVIMETRICAS%20Leoni.pdf>



ANEXOS



ANEXO I



ANEXO I

Instrumentos utilizados en el laboratorio



Fotografía AI.1

Mallas de granulometría



Fotografía AI.2

Molde de CBR



Fotografía AI.3

Balanza electrónica



Fotografía AI.4

Máquina tamizadora



Fotografía AI.5

Máquina de CBR

ANEXO II



ANEXO II

Ensayo de DCP en laboratorio



Fotografía All.1

Preparación de las muestras



Fotografía All.2

Compactación DCP 1



Fotografía All.3

Ensayo DCP

ANEXO III



ANEXO III

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DCP

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN N:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1 / Ensayo 1	FECHA :	04/2012

Densidad Seca		1.320			gr/cm ³
CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	94.7	0	1	0	0
1	93.7	10	1	10	10
1	93.2	5	1	5	15
1	92.7	5	1	5	20
1	92.0	7	1	7	27
1	91.5	5	1	5	32
1	90.7	8	1	8	40
1	90.3	4	1	4	44
1	89.7	6	1	6	50
1	89.2	5	1	5	55
1	88.7	5	1	5	60
1	88.2	5	1	5	65
1	87.5	7	1	7	72
1	87.0	5	1	5	77
1	86.6	4	1	4	81
1	86.0	6	1	6	87
1	85.5	5	1	5	92
1	85.0	5	1	5	97
1	84.5	5	1	5	102
1	84.0	5	1	5	107
1	83.5	5	1	5	112
1	83.0	5	1	5	117
1	82.5	5	1	5	122
1	82.2	3	1	3	125
1	81.7	5	1	5	130
1	81.4	3	1	3	133
1	80.9	5	1	5	138
1	80.5	4	1	4	142
1	80.0	5	1	5	147
Índice DCP Final				5	

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS: Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado

ESTRATO : Estrato I **UBICACIÓN N:** Cerro Colorado

CALICATA : Calicata 1 / Ensayo 3 **FECHA :** 17/02/2012

Densidad Seca	1.320
----------------------	-------

gr/cm³

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	94.8	0	1	0	0
1	93.9	9	1	9	9
1	93.1	8	1	8	17
1	92.4	7	1	7	24
1	91.8	6	1	6	30
1	91.2	6	1	6	36
1	90.7	5	1	5	41
1	90.1	6	1	6	47
1	89.6	5	1	5	52
1	89.1	5	1	5	57
1	88.6	5	1	5	62
1	88.2	4	1	4	66
1	87.8	4	1	4	70
1	87.4	4	1	4	74
1	87.0	4	1	4	78
1	86.5	5	1	5	83
1	86.1	4	1	4	87
1	85.6	5	1	5	92
1	85.2	4	1	4	96
1	84.9	3	1	3	99
1	84.5	4	1	4	103
1	84.3	2	1	2	105
1	84.0	3	1	3	108
1	83.5	5	1	5	113
1	83.0	5	1	5	118
1	82.6	4	1	4	122
1	82.2	4	1	4	126
1	81.8	4	1	4	130
1	81.3	5	1	5	135

Índice DCP Final	5
-------------------------	---

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN N:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 2 / Ensayo 1	FECHA :	04/2012

Densidad Seca	1.376	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	94.7	0	1	0	0
1	94.2	5	1	5	5
1	93.2	10	1	10	15
1	92.5	7	1	7	22
1	91.7	8	1	8	30
1	91.2	5	1	5	35
1	90.8	4	1	4	39
1	90.3	5	1	5	44
1	89.8	5	1	5	49
1	89.4	4	1	4	53
1	89.0	4	1	4	57
1	88.7	3	1	3	60
1	88.4	3	1	3	63
1	88.1	3	1	3	66
1	87.8	3	1	3	69
1	87.5	3	1	3	72
1	87.2	3	1	3	75
1	87.1	1	1	1	76
1	86.8	3	1	3	79
1	86.6	2	1	2	81
1	86.4	2	1	2	83
1	86.0	4	1	4	87
1	85.7	3	1	3	90
1	85.5	2	1	2	92
1	85.2	3	1	3	95
					95
					95
					95
					95

Índice DCP Final	3
-------------------------	---

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN N:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 2 / Ensayo 2	FECHA :	04/2012

Densidad Seca	1.376	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	95.4	0	1	0	0
1	94.8	6	1	6	6
1	94.3	5	1	5	11
1	93.9	4	1	4	15
1	93.4	5	1	5	20
1	93.1	3	1	3	23
1	92.8	3	1	3	26
1	92.5	3	1	3	29
1	92.2	3	1	3	32
1	91.9	3	1	3	35
1	91.6	3	1	3	38
1	91.3	3	1	3	41
1	91.0	3	1	3	44
1	90.8	2	1	2	46
1	90.5	3	1	3	49
1	90.2	3	1	3	52
1	90.0	2	1	2	54
1	89.6	4	1	4	58
1	89.3	3	1	3	61
1	89.0	3	1	3	64
1	88.8	2	1	2	66
1	88.4	4	1	4	70
1	88.2	2	1	2	72
1	87.9	3	1	3	75
					75
					75
					75
					75
					75

Índice DCP Final	3
-------------------------	---

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
ESTRATO :	Estrato I	UBICACIÓN N:	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 2 / Ensayo 3	FECHA :	04/2012

Densidad Seca	1.376	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	87.7	0	1	0	0
1	87.4	3	1	3	3
1	87.1	3	1	3	6
1	86.7	4	1	4	10
1	86.5	2	1	2	12
1	86.2	3	1	3	15
1	85.9	3	1	3	18
1	85.6	3	1	3	21
1	85.2	4	1	4	25
1	85.0	2	1	2	27
1	84.6	4	1	4	31
1	84.3	3	1	3	34
1	84.0	3	1	3	37
1	83.7	3	1	3	40
1	83.3	4	1	4	44
1	83.0	3	1	3	47
1	82.6	4	1	4	51
1	82.4	2	1	2	53
1	82.0	4	1	4	57
1	81.7	3	1	3	60
1	81.3	4	1	4	64
1	81.0	3	1	3	67
1	80.6	4	1	4	71
1	80.4	2	1	2	73
1	80.0	4	1	4	77
					77
					77
					77
					77

Índice DCP Final	3
-------------------------	---

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Estrato 1	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 3 / Ensayo 1	FECHA : 14/04/2012

Densidad Seca	1.314	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	94.2	0	1	0	0
1	93.5	7	1	7	7
1	93.0	5	1	5	12
1	92.3	7	1	7	19
1	91.5	8	1	8	27
1	90.9	6	1	6	33
1	90.1	8	1	8	41
1	89.3	8	1	8	49
1	88.8	5	1	5	54
1	88.0	8	1	8	62
1	87.4	6	1	6	68
1	86.6	8	1	8	76
1	85.9	7	1	7	83
1	85.3	6	1	6	89
1	84.4	9	1	9	98
1	83.6	8	1	8	106
1	83.0	6	1	6	112
1	82.1	9	1	9	121
1	81.6	5	1	5	126
1	81.0	6	1	6	132
1	80.3	7	1	7	139
1	79.6	7	1	7	146
1	79.0	6	1	6	152
1	78.6	4	1	4	156
1	78.1	5	1	5	161
					161
					161
					161
					161

Índice DCP Final	6
-------------------------	---

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Estrato 1	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 3 / Ensayo 2	FECHA : 14/04/2012

Densidad Seca	1.314	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	95.0	0	1	0	0
1	94.0	10	1	10	10
1	92.8	12	1	12	22
1	91.5	13	1	13	35
1	90.5	10	1	10	45
1	89.5	10	1	10	55
1	88.7	8	1	8	63
1	88.0	7	1	7	70
1	87.3	7	1	7	77
1	86.7	6	1	6	83
1	86.0	7	1	7	90
1	85.5	5	1	5	95
1	84.9	6	1	6	101
1	84.1	8	1	8	109
1	83.5	6	1	6	115
1	82.8	7	1	7	122
1	82.1	7	1	7	129
1	81.5	6	1	6	135
1	81.0	5	1	5	140
1	80.5	5	1	5	145
1	80.0	5	1	5	150
1	79.4	6	1	6	156
1	78.8	6	1	6	162
1	78.2	6	1	6	168
1	77.6	6	1	6	174
					174
					174
					174
					174

Índice DCP Final	6
-------------------------	---

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Estrato 1	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 3 / Ensayo 3	FECHA : 14/04/2012

Densidad Seca	1.314	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	86.0	0	1	0	0
1	85.2	8	1	8	8
1	84.5	7	1	7	15
1	84.0	5	1	5	20
1	83.4	6	1	6	26
1	82.8	6	1	6	32
1	82.1	7	1	7	39
1	81.5	6	1	6	45
1	81.0	5	1	5	50
1	80.4	6	1	6	56
1	80.0	4	1	4	60
1	79.5	5	1	5	65
1	79.0	5	1	5	70
1	78.4	6	1	6	76
1	77.8	6	1	6	82
1	77.1	7	1	7	89
1	76.5	6	1	6	95
1	75.7	8	1	8	103
1	75.2	5	1	5	108
1	74.6	6	1	6	114
1	74.0	6	1	6	120
1	73.3	7	1	7	127
1	72.6	7	1	7	134
1	72.0	6	1	6	140
1	71.5	5	1	5	145
					145
					145
					145
					145

Índice DCP Final	6
-------------------------	---

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Muestra en Laboratorio	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1 LAB / Ensayo 10	FECHA : 16/04/2012

Densidad Seca	1.240	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	91.0	0	1		0
1	88.7	23	1	23	23
1	86.7	20	1	20	43
1	84.8	19	1	19	62
1	83.0	18	1	18	80
1	81.2	18	1	18	98
1	79.4	18	1	18	116
1	77.5	19	1	19	135
1	75.7	18	1	18	153
1	73.9	18	1	18	171
1	72.0	19	1	19	190
1	70.2	18	1	18	208
1	68.4	18	2	18	226
1	66.6	18	3	18	244
1	64.9	17	4	17	261
1	63.2	17	5	17	278
1	61.2	20	6	20	298
1	59.2	20	7	20	318
1	57.3	19	8	19	337
1	55.3	20	9	20	357
1	53.3	20	10	20	377
1					377
1					377
1					377
1					377
					377
					377
					377
					377

Índice DCP Final	18
-------------------------	----

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Muestra en Laboratorio	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1 LAB / Ensayo 12	FECHA : 16/04/2012

Densidad Seca	1.240	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	90.5	0	1		0
1	88.1	24	1	24	24
1	85.9	22	1	22	46
1	83.7	22	1	22	68
1	81.7	20	1	20	88
1	79.7	20	1	20	108
1	77.8	19	1	19	127
1	76.0	18	1	18	145
1	74.2	18	1	18	163
1	72.4	18	1	18	181
1	70.6	18	1	18	199
1	68.9	17	1	17	216
1	67.0	19	2	19	235
1	65.2	18	3	18	253
1	63.4	18	4	18	271
1	61.6	18	5	18	289
1	59.7	19	6	19	308
1	57.6	21	7	21	329
1	55.6	20	8	20	349
1	53.6	20	9	20	369
1	51.6	20	10	20	389
1					389
1					389
1					389
1					389
					389
					389
					389
					389

Índice DCP Final	18
-------------------------	----

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Muestra en Laboratorio	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1 LAB / Ensayo 13	FECHA : 16/04/2012

Densidad Seca	1.260	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	89.4	0	1		0
1	87.7	17	1	17	17
1	86.0	17	1	17	34
1	84.5	15	1	15	49
1	83.2	13	1	13	62
1	81.9	13	1	13	75
1	80.5	14	1	14	89
1	79.2	13	1	13	102
1	77.9	13	1	13	115
1	76.4	15	1	15	130
1	75.2	12	1	12	142
1	73.9	13	1	13	155
1	72.6	13	1	13	168
1	71.2	14	1	14	182
1	69.9	13	1	13	195
1	68.6	13	1	13	208
1	67.4	12	1	12	220
1	66.2	12	1	12	232
1	64.7	15	1	15	247
1	63.4	13	1	13	260
1	62.1	13	1	13	273
1	60.5	16	1	16	289
1	58.9	16	1	16	305
1	57.1	18	1	18	323
1	55.1	20	1	20	343
1	52.9	22	1	22	365
					365
					365
					365

Índice DCP Final	13
-------------------------	----

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Muestra en Laboratorio	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1 LAB / Ensayo 14	FECHA : 16/04/2012

Densidad Seca	1.260	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	91.4	0	1		0
1	89.4	20	1	20	20
1	87.6	18	1	18	38
1	86.2	14	1	14	52
1	84.8	14	1	14	66
1	83.5	13	1	13	79
1	82.2	13	1	13	92
1	80.9	13	1	13	105
1	79.7	12	1	12	117
1	78.4	13	1	13	130
1	77.1	13	1	13	143
1	75.8	13	1	13	156
1	74.3	15	2	15	171
1	72.9	14	3	14	185
1	71.6	13	4	13	198
1	70.3	13	5	13	211
1	69.0	13	6	13	224
1	67.9	11	7	11	235
1	66.4	15	8	15	250
1	65.1	13	9	13	263
1	63.7	14	10	14	277
1	62.4	13	11	13	290
1	60.9	15	12	15	305
1	58.9	20	13	20	325
1	57.0	19	14	19	344
1	54.7	23	15	23	367
					367
					367
					367

Índice DCP Final	13
-------------------------	----

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Muestra en Laboratorio	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1 LAB / Ensayo 15	FECHA : 16/04/2012

Densidad Seca	1.260	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	87.9	0	1		0
1	86.2	17	1	17	17
1	84.5	17	1	17	34
1	83.0	15	1	15	49
1	81.7	13	1	13	62
1	80.4	13	1	13	75
1	79.1	13	1	13	88
1	77.7	14	1	14	102
1	76.4	13	1	13	115
1	75.1	13	1	13	128
1	73.9	12	1	12	140
1	72.6	13	1	13	153
1	71.1	15	1	15	168
1	69.8	13	1	13	181
1	68.5	13	1	13	194
1	67.2	13	1	13	207
1	65.8	14	1	14	221
1	64.6	12	1	12	233
1	63.1	15	1	15	248
1	61.8	13	1	13	261
1	60.5	13	1	13	274
1	59.2	13	1	13	287
1	57.2	20	1	20	307
1	55.2	20	1	20	327
1	53.3	19	1	19	346
					346
					346
					346
					346

Índice DCP Final	13
-------------------------	----

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Muestra en Laboratorio	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1 LAB / Ensayo 16	FECHA : 16/04/2012

Densidad Seca	1.290	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	88.0	0	1		0
1	86.4	16	1	16	16
1	84.6	18	1	18	34
1	83.2	14	1	14	48
1	82.1	11	1	11	59
1	81.4	7	1	7	66
1	80.6	8	1	8	74
1	79.8	8	1	8	82
1	78.9	9	1	9	91
1	78.2	7	1	7	98
1	77.4	8	1	8	106
1	76.6	8	2	8	114
1	75.8	8	3	8	122
1	75.3	5	4	5	127
1	74.4	9	5	9	136
1	73.6	8	6	8	144
1	72.8	8	7	8	152
1	72.1	7	8	7	159
1	71.2	9	9	9	168
1	70.7	5	10	5	173
1	69.9	8	11	8	181
1	69.1	8	12	8	189
1	68.2	9	13	9	198
1	67.6	6	14	6	204
1	66.8	8	15	8	212
	66.0				212
	65.3				212
	64.1				212
	63.1				212

Índice DCP Final	8
-------------------------	---

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado	
ESTRATO :	Muestra en Laboratorio	UBICACIÓN N: Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1 LAB / Ensayo 17	FECHA : 16/04/2012

Densidad Seca	1.290	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	91.6	0	1		0
1	89.6	20	1	20	20
1	87.8	18	1	18	38
1	86.4	14	1	14	52
1	85.3	11	1	11	63
1	84.5	8	1	8	71
1	83.7	8	1	8	79
1	82.8	9	1	9	88
1	82.1	7	1	7	95
1	81.5	6	1	6	101
1	80.7	8	1	8	109
1	79.9	8	2	8	117
1	79.1	8	3	8	125
1	78.4	7	4	7	132
1	77.6	8	5	8	140
1	76.7	9	6	9	149
1	75.9	8	7	8	157
1	75.3	6	8	6	163
1	74.4	9	9	9	172
1	73.7	7	10	7	179
1	72.9	8	11	8	187
1	72.0	9	12	9	196
1	71.2	8	13	8	204
1	70.5	7	14	7	211
1	69.7	8	15	8	219
1	68.9	8	16	8	227
1	68.2	7	17	7	234
1	67.0	12	18	12	246
1	66.0	10	19	10	256

Índice DCP Final	8
-------------------------	---

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para suelos puzolánicos Zona de Cerro Colorado		
ESTRATO :	Muestra en Laboratorio	UBICACIÓN	Cerro Colorado
CALICATA :	Calicata 1 LAB / Ensayo 18	N:	
		FECHA :	16/04/2012

Densidad Seca	1.290	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACIÓN ACUMULADA (cm)	PENETRACIÓN ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	ÍNDICE DCP (mm/golpe)	ÍNDICE ACUMULADO
0	90.0	0	1		0
1	88.3	17	1	17	17
1	86.4	19	1	19	36
1	84.8	16	1	16	52
1	83.6	12	1	12	64
1	82.6	10	1	10	74
1	81.9	7	1	7	81
1	81.3	6	1	6	87
1	80.5	8	1	8	95
1	79.7	8	1	8	103
1	78.9	8	1	8	111
1	78.0	9	2	9	120
1	77.3	7	3	7	127
1	76.4	9	4	9	136
1	75.6	8	5	8	144
1	74.8	8	6	8	152
1	74.0	8	7	8	160
1	73.4	6	8	6	166
1	72.5	9	9	9	175
1	71.8	7	10	7	182
1	71.0	8	11	8	190
1	70.1	9	12	9	199
1	69.3	8	13	8	207
1	68.4	9	14	9	216
1	67.6	8	15	8	224
1	66.8	8	16	8	232
1	66.0	8	17	8	240
1	64.7	13	18	13	253

Índice DCP Final	8
-------------------------	----------

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA	Calicata 5 / Ensayo 1	FECHA :	27/11/2012

Densidad Seca	1.339	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACION ACUMULADA (cm)	PENETRACION ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	INDICE DCP (mm/golpe)	INDICE ACUMULADO
0	94.5	0	1	0	0
1	94.0	5	1	5	5
1	93.3	7	1	7	12
1	92.7	6	1	6	18
1	92.0	7	1	7	25
1	91.5	5	1	5	30
1	91.0	5	1	5	35
1	90.5	5	1	5	40
1	90.0	5	1	5	45
1	89.5	5	1	5	50
1	89.0	5	1	5	55
1	88.7	3	1	3	58
1	88.0	7	1	7	65
1	87.6	4	1	4	69
1	87.4	2	1	2	71
1	86.8	6	1	6	77
1	86.4	4	1	4	81
1	85.8	6	1	6	87
1	85.3	5	1	5	92
1	84.9	4	1	4	96
1	84.4	5	1	5	101
1	84.0	4	1	4	105
1	83.5	5	1	5	110
1	83.0	5	1	5	115
1	82.6	4	1	4	119
1	82.0	6	1	6	125
1	81.6	4	1	4	129
1	81.2	4	1	4	133
1	80.8	4	1	4	137

Índice DCP Final	5
-------------------------	----------

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA:	Calicata 5 / Ensayo 2	FECHA :	27/11/2012

Densidad Seca	1.339	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACION ACUMULADA (cm)	PENETRACION ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	INDICE DCP (mm/golpe)	INDICE ACUMULADO
0	94.7	0	1	0	0
1	93.7	10	1	10	10
1	93.2	5	1	5	15
1	92.7	5	1	5	20
1	92.0	7	1	7	27
1	91.5	5	1	5	32
1	90.7	8	1	8	40
1	90.3	4	1	4	44
1	89.7	6	1	6	50
1	89.2	5	1	5	55
1	88.7	5	1	5	60
1	88.2	5	1	5	65
1	87.6	6	1	6	71
1	87.1	5	1	5	76
1	86.6	5	1	5	81
1	86.1	5	1	5	86
1	85.7	4	1	4	90
1	85.2	5	1	5	95
1	84.7	5	1	5	100
1	84.3	4	1	4	104
1	83.8	5	1	5	109
1	83.3	5	1	5	114
1	82.8	5	1	5	119
1	82.4	4	1	4	123
1	81.9	5	1	5	128
1	81.5	4	1	4	132
1	80.9	6	1	6	138

Índice DCP Final	5
-------------------------	----------

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO:	Estrato I	UBICACIÓN	Cerro Colorado
CALICATA	Calicata 6 / Ensayo 1	FECHA :	02/12/2012

Densidad Seca	1.309	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACION ACUMULADA (cm)	PENETRACION ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	INDICE DCP (mm/golpe)	INDICE ACUMULADO
0	94.8	0	1	0	0
1	93.5	13	1	13	13
1	92.9	6	1	6	19
1	92.3	6	1	6	25
1	91.6	7	1	7	32
1	91.0	6	1	6	38
1	90.4	6	1	6	44
1	89.8	6	1	6	50
1	89.2	6	1	6	56
1	88.7	5	1	5	61
1	88.1	6	1	6	67
1	87.5	6	1	6	73
1	86.9	6	1	6	79
1	86.4	5	1	5	84
1	85.7	7	1	7	91
1	85.1	6	1	6	97
1	84.5	6	1	6	103
1	83.9	6	1	6	109
1	83.3	6	1	6	115
1	82.8	5	1	5	120
1	82.3	5	1	5	125
1	81.8	5	1	5	130
1	81.2	6	1	6	136
1	80.6	6	1	6	142
1	80.0	6	1	6	148

Índice DCP Final	6
-------------------------	----------

ESTUDIO DE SUELOS CBR IN SITU (DCP)

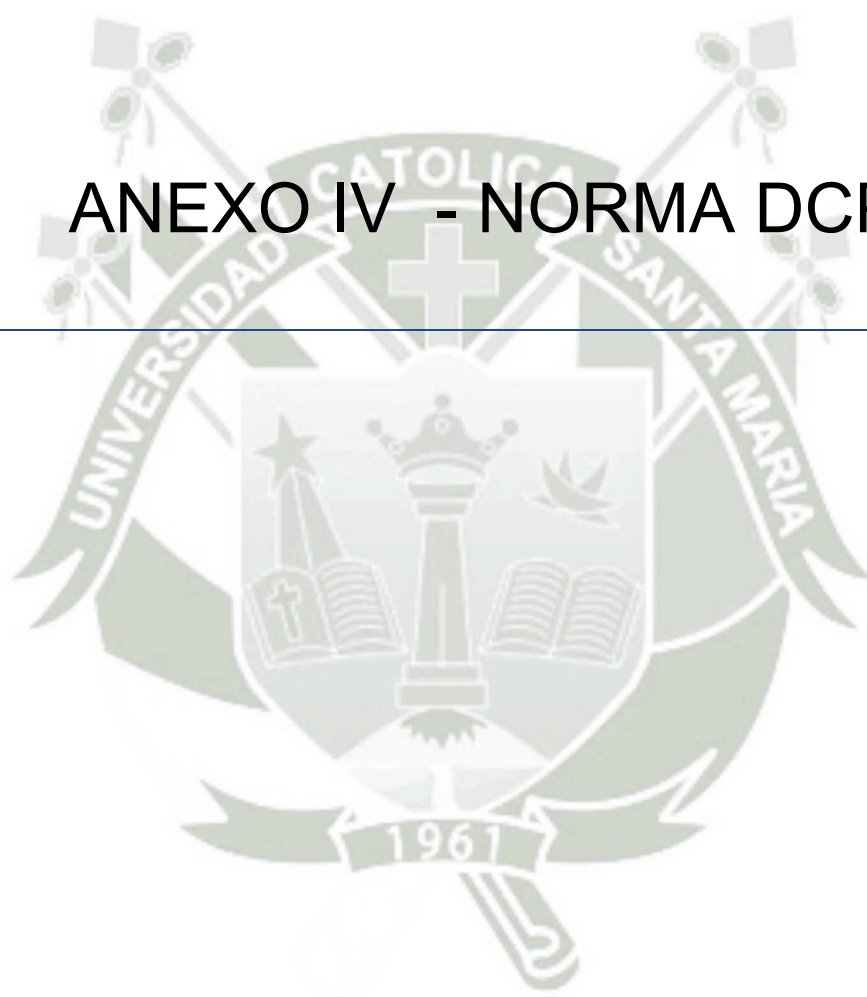
NOMBRE DE TESIS:	Evaluación de la capacidad de soporte del Terreno por medio del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para Suelos Puzolánicos Zona De Cerro Colorado		
ESTRATO:	Estrato I	UBICACIÓN:	Cerro Colorado
CALICATA:	Calicata 6 / Ensayo 2	FECHA :	02/12/2012

Densidad Seca	1.309	gr/cm ³
----------------------	-------	--------------------

CANTIDAD DE GOLPES	PENETRACION ACUMULADA (cm)	PENETRACION ENTRE LECTURAS (mm)	FACTOR DE MAZO	INDICE DCP (mm/golpe)	INDICE ACUMULADO
0	94.6	0	1	0	0
1	93.5	11	1	11	11
1	92.9	6	1	6	17
1	92.4	5	1	5	22
1	91.8	6	1	6	28
1	91.2	6	1	6	34
1	90.6	6	1	6	40
1	90.0	6	1	6	46
1	89.4	6	1	6	52
1	88.8	6	1	6	58
1	88.3	5	1	5	63
1	87.6	7	1	7	70
1	87.0	6	1	6	76
1	86.4	6	1	6	82
1	85.8	6	1	6	88
1	85.2	6	1	6	94
1	84.7	5	1	5	99
1	84.1	6	1	6	105
1	83.5	6	1	6	111
1	82.9	6	1	6	117
1	82.3	6	1	6	123
1	81.7	6	1	6	129
1	81.0	7	1	7	136
1	80.4	6	1	6	142
1	79.9	5	1	5	147

Índice DCP Final	6
-------------------------	----------

ANEXO IV - NORMA DCP



Traducción: Proyecto MOPT/GTZ (E. Barquero, I. Fernández)



Designación: D 6951-03

Método de ensayo estándar para el uso del Penetrómetro Dinámico de Cono en estructuras de pavimentos¹

Esta norma se publica bajo la designación D6951; el número subsiguiente indica el año en el que se da la aceptación original, así como en el caso de revisiones, el año de la última revisión. El número entre paréntesis indica el año de reaprobación. La letra ipsilon ϵ en letra sobreelevada indica un cambio en la edición, desde la última revisión o reaprobación.

1. Ámbito de aplicación

1.1 Este método de ensayo trata sobre la medición de la razón de penetración del Penetrómetro Dinámico de Cono con el mazo de 8 kg (DCP 8kg) a través de suelos inalterados y/o compactados. La razón de penetración puede relacionarse con la capacidad de soporte in situ, tal y como se estima con el ensayo de CBR in situ (Razón de Soporte de California). También se puede estimar la densidad del suelo (ver Nota 1) si se conoce el tipo de suelo y el contenido de humedad. El DCP que se describe en esta norma es el que se utiliza normalmente en estructuras de pavimentos.

1.2 El método de ensayo considera la opción de un mazo deslizante de 4.6 kg, para el caso que el mazo de 8 kg produzca una penetración excesiva, en suelos blandos.

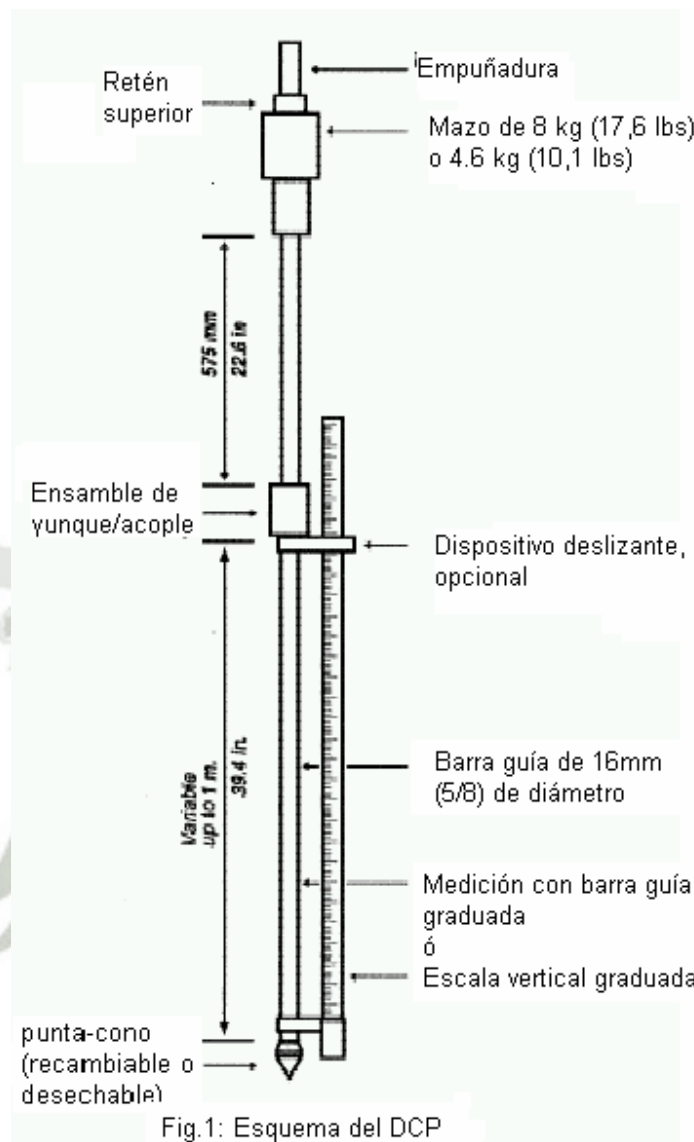
1.3 *Esta norma no tiene como propósito considerar todos los aspectos relativos a la seguridad en el uso del dispositivo, si es que existen. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer, previo a su uso, las rutinas de salud y seguridad necesarias, así como determinar la aplicabilidad de posibles limitaciones o regulaciones.*

2. Definiciones

2.1 *Definiciones de términos específicos para esta norma:*

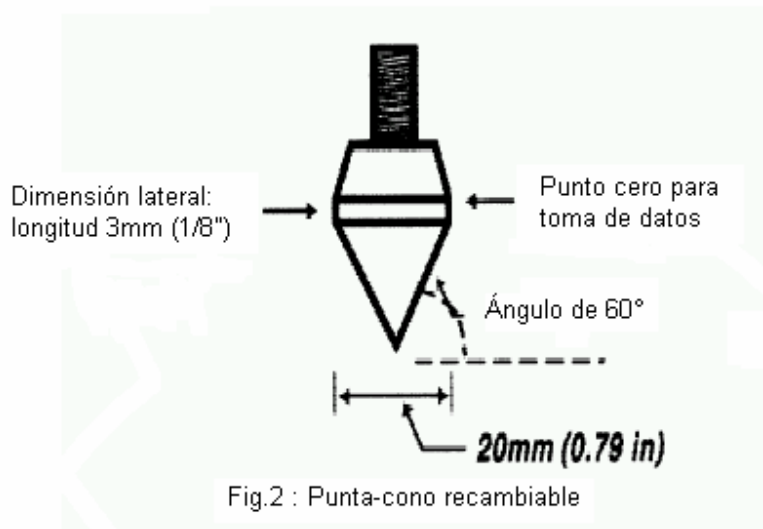
2.11 *DCP Penetrómetro Dinámico de Cono de 8kg* (ver Figura 1): Se trata de un dispositivo usado para evaluar la resistencia de suelos inalterados y/o compactados.

2.1.2 *Comparador adicional de penetración* (ver Figura 1): Se trata de un dispositivo adicional que se usa para leer la profundidad penetrada por la punta del DCP. Puede sujetarse a la barra de deslizamiento del mazo o a la barra inferior para sostener/deslizarse a lo largo de una barra de medición separada. También puede sujetarse a una barra separada y deslizarse a lo largo de una barra graduada (con graduaciones).



3. Resumen del Método de Ensayo

3.1 El operador introduce la punta del DCP en el suelo, levantando el mazo deslizante hasta la empuñadura y soltándola luego. Se mide la penetración total alcanzada para un determinado número de golpes y se anota en mm/golpe, una medida que luego se usa para describir la rigidez del suelo, para estimar el CBR in situ, con base en un cuadro apropiado de correlación, así como otras características.



4. Significado y uso

4.1 Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia en el sitio de suelos inalterados y/o compactados. La razón de penetración del DCP de 8 kg puede ser usada para estimar el CBR in situ (Razón de Soporte de California), para identificar espesores de capas, la resistencia al corte de estratos de suelo y otras características de los materiales.

4.11 Existen otros métodos para DCP con pesos de mazos diferentes y con diferentes tamaños de punta-conos, los cuales tienen correlaciones que son únicas para esos instrumentos.

4.2 El DCP de 8 kg se posiciona verticalmente y por esa razón es usado comúnmente en estructuras constructivas horizontales, tales como pavimentos y losas de piso.

4.3 Este instrumento se usa comúnmente para evaluar las propiedades de materiales ubicados hasta 1000 mm (39") por debajo de la superficie. La profundidad de penetración puede ser aumentada usando extensiones de barras. Sin embargo, en caso que se usen extensiones de barras, debe tenerse cuidado a la hora de utilizar los cuadros de correlación para estimar otros parámetros, ya que estas correlaciones sólo son aptas para configuraciones específicas de DCP. La masa y la inercia del dispositivo cambiarán y se producirá fricción por contacto superficial de las extensiones de las barras.

4.4 El DCP de 8 kg puede ser usado para estimar los parámetros de soporte de suelos finos y gruesos, materiales granulares de construcción y estabilizaciones pobres. El DCP de 8kg no puede ser utilizado en materiales altamente estabilizados o cementados o para materiales granulares que contengan un alto porcentaje de agregados mayores que 50 mm (2").

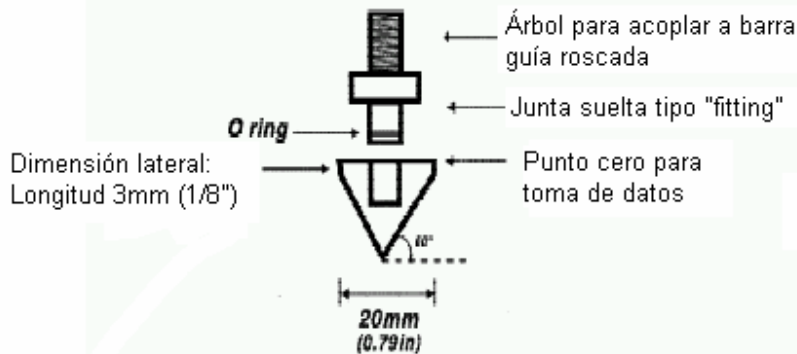


Fig. 3: Punta-cono desechable

4.5 En el caso de materiales ubicados por debajo de capas de materiales altamente estabilizados, el DCP de 8 Kg. puede ser utilizado luego de perforar o cortar un orificio de acceso, en la losa o carpeta.

Nota 1: El DCP puede ser usado para evaluar la densidad de un material relativamente uniforme, relacionando la densidad con la razón de penetración del mismo material. En esta forma se podrán identificar las "áreas suaves" o las zonas de baja compactación, a pesar que el DCP no mide la densidad directamente.

4.5.1 La medición del DCP en el campo, conduce a una estimación del CBR in situ y normalmente los resultados no establecen una correlación directa con el dato de CBR del laboratorio, en condición saturada. Este ensayo es por lo tanto indicado para evaluar la resistencia de los materiales en el sitio, bajo las condiciones existentes.

5. Equipo

5.1 El DCP de 8 Kg. que se muestra en forma esquemática en la Fig. 1 consiste de los siguientes componentes: una barra de acero de 15.8 mm (5/8") de diámetro, con una punta-cono recambiable o desechable, un mazo de 8 Kg. (17,6 lbs) el cual es soltado de una altura de 575 mm (22,6"), un ensamblaje de acople y una empuñadura. La punta-cono tiene un ángulo de 60° y un diámetro en la base de 20mm (0,79"). (ver Fig. 2)

5.1.1 Por norma general, el aparato se construye a base de acero inoxidable, con excepción de la punta-cono recambiable, la cual puede ser construida a base de acero de herramienta endurecido o un material similar que soporte el uso.

5.2 Se recomiendan las siguientes tolerancias:

5.2.1 Dimensión del peso del mazo de 8 Kg. (17,6 lbs); tolerancia = 0,01 Kg. (0,022 lbs).

5.2.2 Dimesión del peso del mazo de 4,6 Kg. (10,1 lbs); tolerancia = 0,01 Kg. (0,022 lbs).

5.2.3 Dimensión de la caída del mazo de 575 mm (22,6"); tolerancia = 1,0 mm (0,039").

5.2.4 Medida de la punta-cono de 60°; tolerancia = 1°.

5.2.5 Dimensión del diámetro base de la punta-cono de 20mm (0,79"); tolerancia = 0,25 mm (0,01").

Nota 2: Es posible usar una punta-cono desechable, que en este caso se sostiene por medio de un "O-ring", el cual permite que la punta-cono se desprenda fácilmente, cuando la barra guía es extraída luego de completar la prueba. La punta-cono desechable se muestra esquemáticamente en la Fig. 3.

5.3 Adicionalmente al DCP, se requiere contar también con el siguiente equipo:

5.3.1 Herramientas para el ensamblaje del DCP.

5.3.2 Aceite lubricante

5.3.3 Herramienta para socar roscas

5.3.4 Un formulario para la toma de datos (ver Cuadro 1)

5.4 Dependiendo de las circunstancias, puede ser que se requiera contar también con el siguiente equipo, por lo que se recomienda considerarlo:

5.4.1 Una escala graduada con distancias de 1,0 mm (0,04"), o una barra de medición graduada, más larga que la barra guía más larga, en caso que las barras guía no sean graduadas.

Cuadro 1: Hoja de datos del DCP

Proyecto: Camino del Servicio Forestal				Fecha: 7 julio 2001			
Ubicación: STA-30+50, 1 MRT of C/L				Personal: JLS & SDT			
Profundidad del punto cero bajo superficie: 0				Peso del mazo: 8 Kg. (17,6 lb)			
Clasificación del material: GW/CL				Condición del tiempo: Nublado, 25 °C (72 °F)			
Condición del pavimento: No aplica				Profundidad del nivel freático: desconocido			
Cantidad de golpes ^A	Penetración acumulada ^B (mm)	Penetración entre lecturas ^C (mm)	Penetración por golpe ^D (mm)	Factor de mazo ^E	Índice DCP ^F (mm/golpe)	CBR % ^G	Humedad % ^H
0	0	--	--	--	--	--	--
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	

^ACantidad de golpes del mazo entre lecturas del ensayo

^BPenetración acumulada después de cada set de golpes del mazo

^CDiferencia en la penetración acumulada (nota de pie B) entre lecturas

^DNota de pie C dividida entre nota de pie A

^EAnote 1 para el mazo de 8 Kg. (17.6 lb) y 2 para el mazo de 4.6 Kg. (10.1lb)

^FNota de pie D x Nota de pie E

^GDe la correlación entre CBR y el Índice DCP

^HContenido de humedad cuando se disponga de este valor.

5.4.2. Un accesorio opcional deslizante para usarlo con una escala separada o una barra graduada de medición.

5.4.3. Un taladro de percusión o aparato saca núcleos, capaz de taladrar un hueco con un diámetro mínimo de 25 mm (1-in.). Puede requerirse el taladrar un hueco de mayor tamaño, dependiendo del material del subsuelo o de la necesidad de realizar muestreos o pruebas adicionales.

5.4.4. Una bomba de vacío o succionador de vía húmeda o seca, o alguna otra alternativa viable para remover material suelto y fluidos, en caso que se deba perforar un hueco de acceso antes de realizar el prueba .

5.4.5. Una fuente de poder de campo para suplir energía a los accesorios mencionados en los puntos 5.4.3. y 5.4.4.

5.4.6. Punta-conos desechables o recambiables.

5.4.7. Un mazo de masa dual (véase Fig. 4) y

5.4.8. Una gata de extracción, recomendada si no se utilizan punta-conos desechables (véase Fig. 5)

Nota: 3 – En lugar del mazo de 8 Kg. (17.6 lb), se puede utilizar un mazo de 4.6 Kg. (10.1 lb) (véase Fig. 4), siempre y cuando se mantenga la altura de caída. El mazo de 4.6 Kg. (10.1 lb) se utiliza con materiales más débiles, en los cuales el uso del mazo de 8 Kg. (17.6 lb) pudiere ocasionar una penetración excesiva.

Nota: 4- Una versión automática del DCP (ADCP) puede ser utilizada, siempre y cuando se cumplan todos los requerimientos de esta norma, en lo que respecta al aparato y a los procedimientos.

Nota: 5- Se puede utilizar un sistema automático de recolección de datos, siempre y cuando permita realizar las mediciones y el registro de datos con una precisión de un 1mm (0.04 in), y su funcionamiento no afecte la operación o los resultados del instrumento.

6. Procedimiento

6.1. *Verificación del equipo* – Antes de iniciar un ensayo, el DCP se inspecciona para identificar partes dañadas por el uso, en particular el acople y la empuñadura, un desgaste excesivo de la barra o la punta-cono recambiable. Todas las uniones deben estar bien ajustadas, incluyendo el ensamble de acople entre la punta-cono recambiable y la barra (o el acople para la punta-cono desechable y la barra).

6.2. *Operación básica* – El operador sostiene el aparato por la empuñadura en posición vertical o a plomo, y levanta y suelta el mazo desde la altura estándar. Según la escala que se utilice se mide y toma nota de la penetración total para un número establecido de golpes o la penetración para cada golpe.

6.3. *Lectura inicial:*

- 6.3.1. *Ensayo de un estrato o capa superficial* – El DCP se sostiene verticalmente y la punta se coloca de tal forma que la parte superior más ancha de la punta está a nivel de la superficie del material a probar. Se obtiene una lectura inicial de la escala vertical graduada o una escala separada. La distancia es medida con precisión lo más cerca a 1 mm (0,04 pulgadas). Algunos dispositivos deslizantes opcionales permiten poner la escala en cero si la punta está colocada en la posición cero mostrada en la Figura 2.
- 6.3.2. *Ensayo de suelos por debajo de un estrato cementado* – Cuando se ensayan materiales ubicados debajo de capas cementadas se utiliza un mazo rotatorio o aparato saca núcleos, que cumpla con los requerimientos indicados en el Punto 5.4.3. arriba indicado, con el fin de poder realizar un hueco de acceso al estrato a ser analizado. Si se trabaja en húmedo, se requiere que el fluido utilizado sea removido inmediatamente y el ensayo con el DCP sea realizado lo más pronto posible, y dentro de los 10 minutos siguientes a la extracción del núcleo. No se debe permitir que el fluido utilizado sature o penetre dentro del material a ser probado. En este caso se debe utilizar una bomba de vacíos o succionador en seco o húmedo luego de completar el taladrado, para remover partículas sueltas o líquido del hueco de acceso antes de realizar la prueba. Para minimizar el impacto del mazo rotatorio, no se debe taladrar hasta el final a través del estrato o capa, sino detenerse unos 10-20 mm antes. El DCP se utilizará, entonces, para penetrar la parte del fondo del estrato. Este proceso puede repetirse entre el taladrado y la realización de las pruebas con el DCP, para determinar el espesor de la capa o estrato.
- 6.3.3. *Ensayo de pavimentos con sellos delgados*. En el caso de pavimentos con sellos delgados, la punta debe introducirse a través del sello, hasta que el punto cero de la punta-cono (véase Figura 4) quede al nivel de la parte superior de la capa a ser analizada.
- 6.3.4. Una vez que se ha llegado al estrato o capa a ser analizada, la lectura de referencia se realiza con el punto cero de la punta-cono ubicado en el nivel de la parte superior del estrato, registrando de previo el espesor de las capas que se atravesaron. Esta lectura de referencia es el punto de partida a partir del cual se mide la penetración subsecuente.

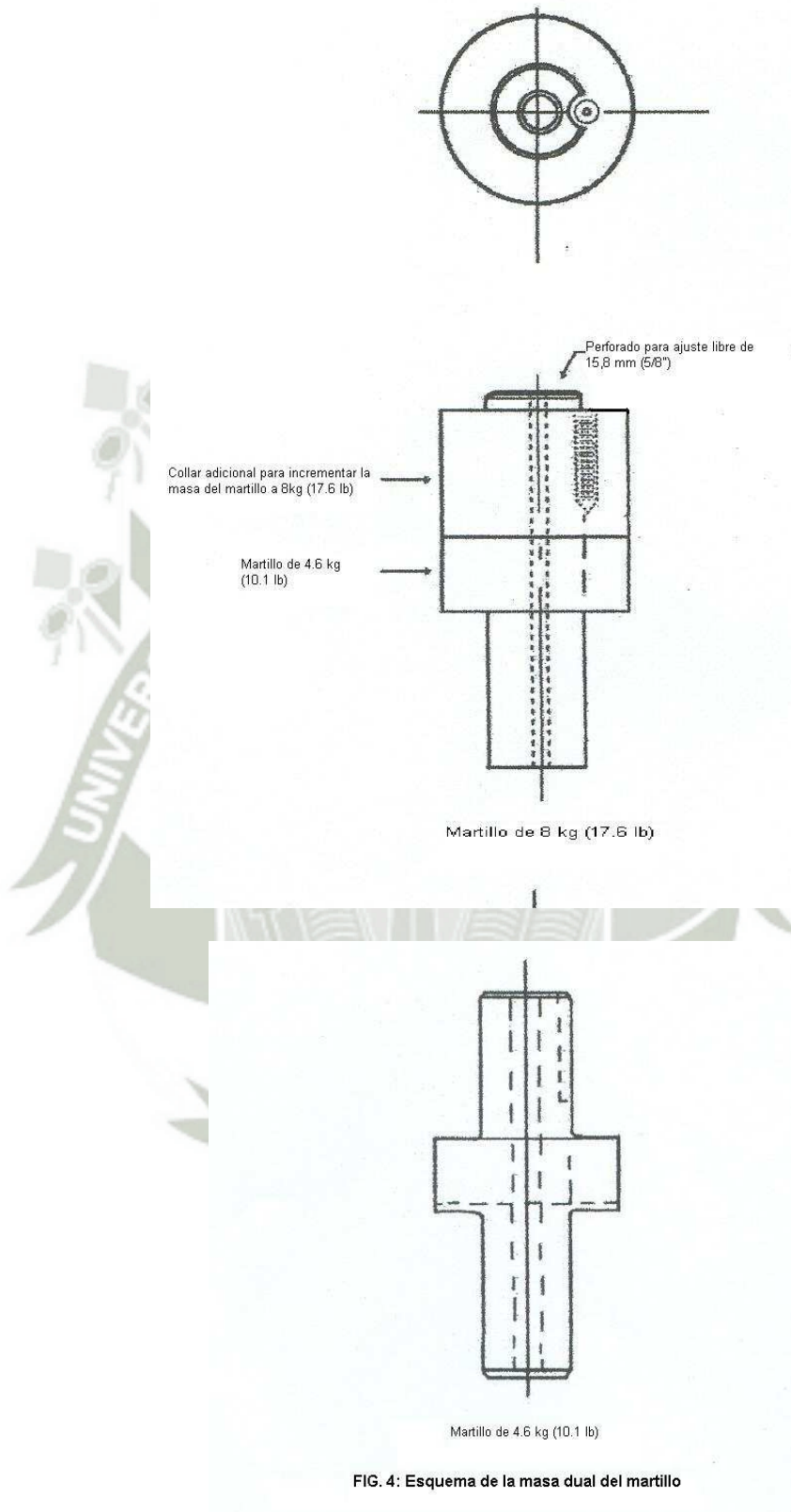


FIG. 4: Esquema de la masa dual del martillo

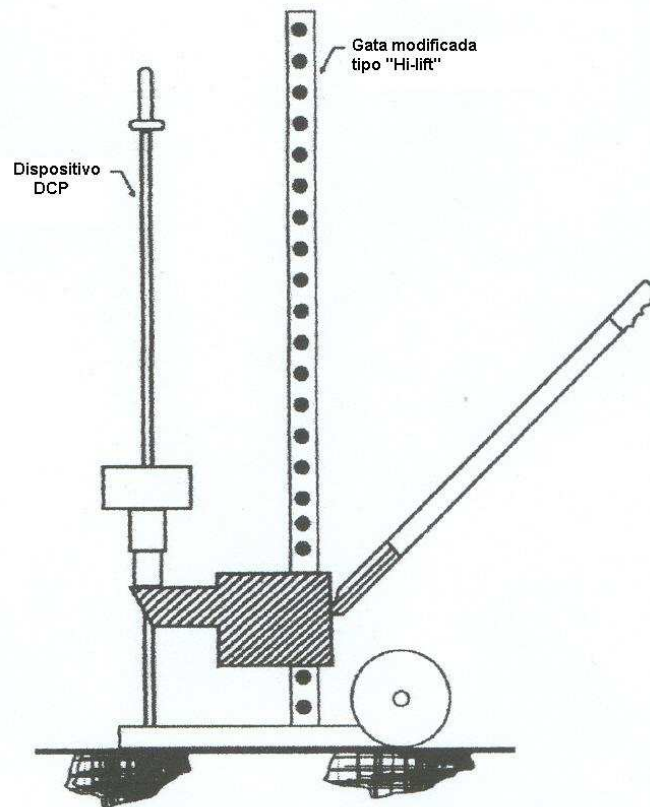


FIG. 5 Esquema de la gata de extracción del DCP

6.4. Secuencia del ensayo:

- 6.4.1. *Dejando caer el mazo* -Se sostiene el DCP en una posición vertical o a plomo. El operador levanta el mazo hasta que solamente haga un ligero contacto con el mango. El mazo no debe hacer impacto sobre el mango cuando es levantado. Luego se suelta el mazo en caída libre y se deja que impacte sobre el ensamble de yunque. La cantidad de impactos y la penetración correspondiente son registrados según se describe en el punto 6.5.
- 6.4.2. *Profundidad de la penetración* – La profundidad de la penetración variará según su aplicabilidad. Para su uso en autopistas típicas, una penetración menor a 900 mm (35 pulgadas) es generalmente la adecuada.
- 6.4.3. *Rechazo* – La presencia de agregados de gran tamaño o estratos de roca va a ocasionar que la penetración se imposibilite o que se flexione la barra guía. Si después de 5 impactos, el DCP no ha avanzado más de 2 mm (0,08 pulgadas) o el mango se ha desviado más de 75 mm (3 pulgadas) de la posición vertical, se debe detener la prueba y mover el DCP hacia otro lugar donde realizarla. La nueva ubicación para la realización de la prueba debe estar ubicada con lo mínimo a unos 300 mm (12 pulgadas) de la

localización anterior, con el fin de minimizar el margen de error en la prueba ocasionado por problemas del material.

- 6.4.4. *Extracción* – Luego de completar la prueba, y en caso de estarse usando una punta-cono reemplazable, el DCP debe ser extraído usando la gata de extracción. Si por el contrario se está utilizando una punta-cono desechable, el DCP es extraído golpeando el mazo hacia arriba contra la empuñadura.

6.5. *Registro de datos:*

- 6.5.1. Se sugiere registrar los datos en una forma similar a la presentada en el Cuadro 1. La persona encargada introduce la información del encabezado antes de realizar la prueba. Los datos obtenidos son registrados en la columna 1 (cantidad de golpes y columna 2 (penetración acumulada en mm). Si se puede obtener una medida acerca de la cantidad de humedad, se registra en la columna 8. Si se está realizando la prueba en un substrato, a través de una capa pre-perforada, la primera lectura corresponde a la lectura de referencia en la parte superior del estrato a ser analizado, como se indica en el punto 6.3.2. La cantidad de impactos entre las lecturas puede variarse, dependiendo de la resistencia del material. Generalmente, las lecturas se toman luego de un número predeterminado de golpes, a saber; luego de un impacto en el caso de materiales suaves, 5 impactos en el caso de materiales “normales” y 10 impactos en el caso de materiales muy resistentes. La penetración correspondiente a un número determinado de golpes se registra al 1 mm más cercano (0,04 pulgadas). También se debe realizar una lectura tan pronto cambien significativamente las propiedades del material o la razón de penetración.

Cuadro 2: Correlación tabular entre el CBR y el Índice DCP

Índice DCP mm/golpe	CBR %	Índice DCP mm/golpe	CBR %	Índice DCP mm/golpe	CBR %
<3	100	39	4.8	69-71	2.5
3	80	40	4.7	72-74	2.4
4	60	41	4.6	75-77	2.3
5	50	42	4.4	78-80	2.2
6	40	43	4.3	81-83	2.1
7	35	44	4.2	84-87	2.0
8	30	45	4.1	88-91	1.9
9	25	46	4.0	92-96	1.8
10-11	20	47	3.9	97-101	1.7
12	18	48	3.8	102-107	1.6
13	16	49-50	3.7	108-114	1.5
14	15	51	3.6	115-121	1.4
15	14	52	3.5	122-130	1.3
16	13	53-54	3.4	131-140	1.2
17	12	55	3.3	141-152	1.1
18-19	11	56-57	3.2	153-166	1.0
20-21	10	58	3.1	166-183	0.9
22-23	9	59-60	3.0	184-205	0.8
24-26	8	61-62	2.9	206-233	0.7
27-29	7	63-64	2.8	234-271	0.6
30-34	6	65-66	2.7	272-324	0.5
35-38	5	67-68	2.6	>324	<0.5

7. Cálculos e interpretación de los resultados

- 7.1. El CBR in situ estimado se calcula usando el índice del DCP (columna 6, Cuadro 1) y el Cuadro 2 para cada conjunto de lecturas. La penetración por golpe puede ser graficada respecto a la escala de lectura o respecto a la profundidad total alcanzada. La penetración por golpe se utiliza luego para estimar el CBR in situ o la resistencia al corte utilizando una correlación adecuada. Por ejemplo, la correlación entre la penetración por golpe (DCP) del Cuadro 2 se deriva de la ecuación $CBR = 292/DCP^{1.12}$ recomendada por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos ⁽³⁾. Esta ecuación es utilizada para todo los suelos, exceptuando los suelos arcillosos de baja plasticidad (CL) con CBR por debajo de 10 y los suelos CH. Para este tipo de suelos, las siguientes ecuaciones son recomendadas por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos ⁽⁴⁾:

$$\begin{aligned} \text{CBR de suelos CL} < 10: CBR &= 1 / (0.017019 \times DCP)^2 \\ \text{Suelos CH: CBR} &= 1 / 0.002871 \times DCP \end{aligned}$$

- 7.1.1. La selección de la correlación apropiada es un asunto de criterio profesional.
- 7.2. Si existen diferentes estratos o capas dentro del material analizado, se observará para cada capa un cambio de pendiente en el gráfico de golpes acumulados de penetración versus profundidad. La interfase exacta es difícil de definir porque, en general, existe una zona de transición entre las capas o estratos. El espesor de capa se puede determinar por medio de la intersección de las líneas que representan el promedio de pendiente de las capas adyacentes. Una vez que se ha definido el espesor de las capas, se calcula la penetración promedio por capa.

8. Informe

- 8.1. El informe debe incluir toda la información que se muestra en el Cuadro 1. La relación utilizada para estimar los valores del CBR in situ también debe ser incluida.

⁽³⁾ Webster, S.L., Grau, R.H., y Williams, T.P. "Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer", Report GL-92-3, Department of the Army, Washington, DC, Mayo 1992, p. 19.

9. Precisión y desviaciones

- 9.1. *Precisión* – Se ha determinado que la desviación estándar de la repetibilidad inter-laboratorio de campo es menor que 2 mm/golpe⁽⁵⁾. No es posible determinar los límites de reproducibilidad para esta prueba de campo, la cual es destructiva por naturaleza y cuya muestra no es homogénea y no puede ser replicada sobre la base de la humedad y densidad en otros laboratorios.

Nota 6 – El estudio de repetibilidad⁽⁵⁾ se refiere a materiales granulares y correspondería a aproximadamente un 20 % o menos, si se expresara en porcentajes.

- 9.2. *Desviaciones* – No se han establecido determinaciones acerca de las desviaciones de este método de ensayo hasta la fecha.

10. Palabras clave

- 10.1. ADCP; ensayo de bases granulares; California Bearing Ratio; CBR; C CBR; punta-conos desechables; mazo de masa dual; penetrómetro dinámico de cono; pruebas en sitio; ensayo de materiales de pavimentos; resistencia al corte, ensayos de subrasante.

⁽⁴⁾ Webster, S.L., Brown, R.W., y Porter, J.R., "Force Projection Site Evaluation Using the Electric Cone Penetrometer (ECP) and the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)", Technical Report No. GL-94-17, Air Force Civil Engineering Support Agency, U.S. Air Force, Tyndall Air Force Base, FL, Abril 1994.

⁽⁵⁾ Burnham, T.R., "Application of Dynamic Cone Penetrometer to Minnesota Department of Transportation Pavement Assessment Procedures", MN/R-97/19, Minnesota Department of Transportation, Saint Paul, MN, 1997, p. 37.

Bibliografía

- (1) Ayers, M. E., "Rapid Shear Strength of In Situ Granular Materials Utilizing the Dynamic Cone Penetrometer," Ph.D. Theses, University of Illinois, Urbana, IL, 1990.
- (2) De Beer, M., Kleyn, E. G., and Savage P. F., "Towards a Classification System for the Strength-Balance of Thin Surfaced Flexible Pavements," *Proceedings of the 1988 Annual Transportation Convention (ATC '88), Session S.443*, Vol 3D, Paper 3D-4, Pretoria, July 1988.
- (3) De Beer, M., "Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Aided Evolution of the Behaviour of Pavements with Lightly Cementitious Layers," *Division of Roads and Transport Technology, Research Report DPVT-37*, CSIR, Pretoria, South Africa, April 1989.
- (4) De Beer, M., Kleyn, E. G., and Savage, P. F., "Advances in Pavement Evaluation and Overlay Design with the Aid of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)," *2nd International Symposium on Pavement Evaluation and Overlay Design, 11th to 15th September 1989*, Rio de Janeiro, Brazil.
- (5) De Beer, M., "Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) in the Design of Road Structures," *Tenth African Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Maseru, Lesotho, September 1991. *Geotechnics in the African Environment*, Blight, et al (eds.), Balkema, Rotterdam, Vol 1, 1991, pp. 167-183. Also in *Research Report DPVT-187*, Roads and Transport Technology, CSIR, South Africa.
- (6) De Beer, M., "Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) in the Design of Road Structures," *Research Report DPVT-18*, Roads and Transport Technology, CSIR, South Africa, 1991, p. 30.
- (7) De Beer, M., "Dynamic Cone Penetrometer (DCP), the Development of DCP Pavement Technology in South Africa," Session 7, course notes from RSA/US Pavement Technology Workshop, at Richmond Field Station, University of California, Berkeley, March 2000.
- (8) Kessler, K.C., *Dynamic Cone Penetrometer User's Manual*. Kessler Soils Engineering Products, Inc., January 2001, Springfield, VA.
- (9) Kleyn, E. G., "The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)," *Report 2/74*, Transvaal Roads Department, Pretoria, South Africa, July 1975, p. 35.
- (10) Kleyn, E. G., Maree, J. H., and Savage, P. F., "Application of a Portable Pavement Dynamic Cone Penetrometer to Determine in situ Bearing Properties of Road Pavement Layers and Subgrades in South Africa," *ESOPT 11*, Amsterdam, Netherlands, 1982.
- (11) Kleyn, E. G., and Savage, P. F., "The Application of the Pavement DCP to Determine the Bearing Properties and Performance of Road Pavements," *International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields*, Trondheim, Norway, 1982.
- (12) Kleyn, E. G., Van Heerden, M. J. J., and Rossouw, A. J., "An Investigation to Determine the Structural Capacity and Rehabilitation Utilization of a Road Pavement Using the Pavement Dynamic Cone Penetrometer," *International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields*, Trondheim, Norway, 1982.
- (13) Kleyn, E. G., and Van Heerden, M. J. J., "Using DCP Soundings to Optimize Pavement Rehabilitation," *Annual Transport Convention, Session G: Transport Infrastructure*, Johannesburg, South Africa, 1983.
- (14) Kleyn, E. G., in Afrikaans, "Aspects of Pavement Evaluation and Design as Determined with the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)," M. Eng. Thesis, University of Pretoria, Pretoria, South Africa, May 1984. (Approximately 13000 words, 51 Figures and 1 photo.)
- (15) Kleyn, E. G., Van Van Zyl, G. D., "Application of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP) to Light Pavement Design," *Proceedings of First International Symposium on Penetration Testing, Orlando Florida*, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands, 1988, pp. 435-444.
- (16) Livneh, M., "The Relationship Between In Situ CBR Test and Various Penetration Test," *Proceedings of the First Symposium on Penetration Testing, Orlando, Florida*, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherland, 1988.
- (17) Livneh, M., "Validation of Correlations Between a Number of Penetrations Tests and In Situ California Bearing Ratio Tests," *Transportation Research Record 1219*, Transportation Research Record, Washington, DC, 1989.
- (18) Livneh, M., "The Israeli Experience with the Regular and Extended Dynamic Cone Penetrometer for Pavement and Subsoil Strength Evaluation, Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli," *ASTM STP 1375*, S. D. Tayabji and E. O. Lukanen, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1999.
- (19) "METHOD ST6: Measurement of the In Situ Strength of soils by the Dynamic Cone Penetrometer (DCP), Special Methods for Testing Roads," Draft TMH6, Technical Methods for Highways (TMH), ISBN 0 7988 2289 9, 1984, pp. 19-24.
- (20) Sampson, L. R., and Netterberg, F., "Effect of Material Quality on the Relationship Between nDCP DN-Value and CBR," *Proceedings of the Annual Transportation Convention, Pretoria, South Africa*, Vol 5B, Paper #3, 1990, p. 12.
- (21) Scala, A. J., "Simple Methods of Flexible Pavement Design Using Cone Penetrometers," *Proceedings of the Second Australian Soil Mechanics Conference, Christ Church, New Zealand, New Zealand Engineer*, 11(2), 1956, pp. 34-44.
- (22) Siekmeier, J. A., Young, D., and Beberg, D., "Comparison of the Dynamic Cone Penetrometer with Other Tests During Subgrade and Granular Base Characterization in Minnesota," *Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli: Third Volume, ASTM STP 1375*, S. D. Tayabji and E. O. Lukanen, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohochen, PA, 1999.

- (23) Stephanos, G., Stanglerat, G., Bergdahl, V., and Melzer, K. J., "Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedures," *Proceedings of First International Symposium on Penetration Testing, Orlando, FL*, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands, 1988.
- (24) Van Vuuren, D. J., "Rapid Determination of CBR With the Portable Dynamic Cone Penetrometer," *The Rhodesian Engineer*, Vol 7, Number 5, Salisbury, Rhodesia, September 1968, pp. 852-854.
- (25) Webster, S. L., Grau, R. H., and Williams, T. P., "Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer," *Report GL-92-3*, Department of the Army, Washington DC, May 1992, p. 19.
- (26) Webster, S. L., Brown, R. W., and Porter, J. R., "Force Projection Site Evaluation Using the Electric Cone Penetrometer (ECP) and the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)," *Technical Report No. GL-94-17*, Air Force Civil Engineering Support Agency, U.S. Air Force, Tyndall Air Force Base, FL, April 1994.
- (27) WinDCP 4.0: "Analysis and Classification of DCP Survey Data; User Manual and Software," 2000, Pretoria: Division of Roads and Transport Technology, CSIR, Divisional Publication: *DP-2000/5*.

