

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES
DCP *IN SITU* Y CBR DE LABORATORIO.”

Trabajo de titulación,
previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil.

AUTORES:

León Calderón Johnatan Francisco.
C.I: 0301963195
Zeas Cárdenas Raúl Bernardo.
C.I: 0301822557

DIRECTOR:

Ing. Rolando Armas Novoa, MSc.
C.I: H018935

Cuenca – Ecuador

Octubre, 2017



RESUMEN

El presente trabajo experimental desarrolla una metodología para encontrar una correlación entre un índice *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* y un índice *California Bearing Ratio (CBR)*; con base en ensayos de laboratorio se ha determinado las propiedades físicas (Granulometría, Límites de Atterberg, Humedad y Densidad seca) y propiedades mecánicas (CBR y DCP). El suelo utilizado para los ensayos, pertenece a la Formación Geológica “Azogues” que está presente en la zona austral del Ecuador.

Los resultados obtenidos son dos correlaciones: la primera, entre el índice DCP, en golpes para penetrar 44 mm, ofrecido por el Cono S-200 desarrollado por el Prof. Sowers y el CBR; y la segunda, entre el índice DCP que ofrece el Cono desarrollado por A.J. Scala, en mm por golpe, y el CBR. La correlación encontrada para el Cono S-200 constituye una primera investigación sobre la utilización del equipo para Ingeniería Vial, y la del Cono de Scala sirve como soporte para la validación del proceso, al ser comparada con otras correlaciones existentes para dicho equipo (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos y *Transport Road Research Laboratory*).

Palabras clave: correlación, DCP, CBR.



ABSTRACT

This experimental work develops a methodology to find the correlation between the *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)* and *California Bearing Ratio (CBR)* index. Through laboratory essays, the physical (Particle size, Atterberg Limits, Moisture and Density) and mechanical properties (CBR and DCP), were determined. The soil used for the tests belongs to Geological Formation “Azogues” located in Ecuador’s Austral region.

The results suggest two correlations. The first one, between CBR and the DCP test at blows to penetrate 44 mm, offered by the S-200 Cone, which was developed by Professor Sowers. The second correlation is between the DCP index that offers the Cone developed by A.J. Scala, in mm/blow and CBR. The correlation for the S-200 Cone is the first investigation about the use of this equipment in road engineering. The Scala’s Cone serves as a support for the validation of the process at being compared with other existents correlation for that equipment. (U.S. Army Corps of Engineers and *Transport Road Research Laboratory*).

Keywords: correlation, DCP, CBR.



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2 ANTECEDENTES	13
1.3 JUSTIFICACIÓN	14
1.4 OBJETIVOS	14
GENERAL	14
ESPECÍFICOS	14
1.5 ALCANCE.....	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 ENSAYO DCP (PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO).....	15
2.1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	15
2.1.2 CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DCP-S200.....	16
2.1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	16
2.1.2.2 PROCEDIMIENTO.....	17
2.1.3 CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA SEGÚN NORMA ASTM D 6951-03.....	17
2.1.3.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	17
2.1.3.2 PROCEDIMIENTO.....	18
2.2 COMPACTACIÓN DE SUELOS	19
2.2.1 ENSAYO PROCTOR	19
2.2.2 ENERGÍA DE COMPACTACIÓN	20
2.3 ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)	22
2.3.1 PROCEDIMIENTO	22
2.3.2 APLICACIÓN DE RESULTADOS	23
2.4 IMPORTANCIA DE UNA CORRELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES CBR Y DCP	24
2.5 CORRELACIONES EXISTENTES ENTRE EL DCP Y CBR	24
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1 ZONA DE ESTUDIO	26
3.1.1 GEOLOGÍA	27
3.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	27
3.3 METODOLOGÍA PARA OBTENER PARÁMETROS FÍSICOS Y MECÁNICOS DEL SUELO	28
3.3.1 CONTENIDO DE HUMEDAD.....	28
3.3.2 LIMITES DE ATTERBERG	28
3.3.2.1 LÍMITE LÍQUIDO	29
3.3.2.2 LÍMITE PLÁSTICO	30
3.3.3 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	30
3.3.4 CLASIFICACIÓN DEL SUELO	31



3.3.4.1	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN, SUCS	31
3.3.4.2	SISTEMA ASSHTO	31
3.3.5	ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO).....	32
3.3.6	ENSAYO CBR EN LABORATORIO.....	32
3.3.7	ENSAYO DCP EN LABORATORIO	32
3.4	NÚMERO DE ENSAYOS A REALIZAR.....	33
3.5	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES CBR Y DCP.....	33
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS		35
4.1	PROPIEDADES FÍSICAS	35
4.1.1	GRANULOMETRÍA	35
4.1.2	LÍMITES DE ATTERBERG	37
4.1.3	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	38
4.2	PROPIEDADES MECÁNICAS	38
4.2.1	ENSAYO DE COMPACTACIÓN	38
4.2.2	ENSAYO CBR.....	39
4.2.3	ENSAYO DCP.....	40
4.3	CONSTRUCCIÓN DE LA CORRELACIÓN	41
4.3.1	ECUACIÓN DENSIDAD SECA VS CBR	41
4.3.2	CORRELACIÓN DCP SOWERS VS CBR	42
4.3.3	CORRELACIÓN DCP SCALA VS CBR	43
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		46
5.1	CONCLUSIONES	46
5.2	RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍA		49
ANEXOS		52
Anexo 1: Análisis Granulométrico		52
Anexo 2: Límites de Atterberg.		61
Anexo 3: Clasificación del Suelo.....		70
Anexo 4: Ensayo de Compactación.		73
Anexo 5: Ensayo CBR.....		82
Anexo 6: Determinación de densidades para ensayos DCP.		94
Anexo 7: Ensayo DCP Sowers S-200.....		95
Anexo 8: Ensayo DCP Scala.		96
ANEXO FOTOGRÁFICO		105
Anexo 1: Extracción de muestras		105
Anexo 2: Granulometría		106
Anexo 3: Límites de Atterberg		107
Anexo 4: Compactación.....		108



Anexo 5: Ensayo CBR de laboratorio.....	109
Anexo 6: Preparación de muestras para el ensayo DCP	111
Anexo 7: Ensayo DCP Sowers	112
Anexo 8: Ensayo DCP Scala	113



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Límites teóricos de la falla plástica.....	15
Figura 2. Cono de penetración dinámica s-200	16
Figura 3. Esquema del equipo DCP.....	18
Figura 4. Ensayo DCP in situ	18
Figura 5. Equipo de compactación en laboratorio.....	19
Figura 6. Curva de compactación Proctor	20
Figura 7. Curva de compactación y saturación.....	21
Figura 8. Equipo para ensayo CBR de laboratorio.....	22
Figura 9. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	26
Figura 10. Geología local de la zona de estudio.....	27
Figura 11. Estados del suelo, según su contenido de humedad.....	29
Figura 12. Copa de Casagrande.....	29
Figura 13. Curva granulométrica promedio de las tres muestras	36
Figura 14. Densidad seca vs CBR	42
Figura 15. Correlación DCP Sower y CBR.....	43
Figura 16. Correlación DCP escala y CBR	44
Figura 17. Análisis de correlaciones DCP Scala.....	45



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de penetración y carga unitaria patrón	23
Tabla 2. Clasificación del material en función del CBR	23
Tabla 3. Correlaciones entre el número DCP y CBR	25
Tabla 4. Resultado de los 9 ensayos de las 3 muestras	35
Tabla 5. Granulometría promedio de las tres muestras	36
Tabla 6. Cu y Cc promedio de las tres muestras	37
Tabla 7. Límites de Atterberg de las muestras	37
Tabla 8. Valor promedio de los Límites de Atterberg de las tres muestras.....	37
Tabla 9. Clasificación SUCS y AASHTO de las muestras	38
Tabla 10. Resultado de los ensayos de Proctor Modificado.....	38
Tabla 11. Humedad óptima y densidad seca promedio de las muestras.....	39
Tabla 12. Resultados ensayo CBR	39
Tabla 13. Valores asumidos del ensayo CBR	40
Tabla 14. Densidad seca y DCP Sowers de las muestras	40
Tabla 15. Densidad seca e Índice DCP de las muestras	41
Tabla 16. Resultado ensayo DCP Sowers	42
Tabla 17. Resultado Ensayo DCP Scala.....	44
Tabla 18. Factores K y n de las correlaciones DCP Scala.....	45



CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Johnatan Francisco León Calderón, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Determinación de la correlación entre los índices DCP *insitu* y CBR de laboratorio”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de Noviembre de 2017

Johnatan Francisco León Calderón

C.I: 0301963195



CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Raúl Bernardo Zeas Cárdenas, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Determinación de la correlación entre los índices DCP *insitu* y CBR de laboratorio”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de Noviembre de 2017

Raúl Bernardo Zeas Cárdenas

C.I: 0301822557



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Johnatan Francisco León Calderón, autor del trabajo de titulación “Determinación de la correlación entre los índices DCP *insitu* y CBR de laboratorio”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 24 de Noviembre de 2017

Johnatan Francisco León Calderón

C.I: 0301963195



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Raúl Bernardo Zeas Cárdenas, autor del trabajo de titulación “Determinación de la correlación entre los índices DCP *insitu* y CBR de laboratorio”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 24 de Noviembre de 2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized letters and a long horizontal stroke at the bottom.

Raúl Bernardo Zeas Cárdenas

C.I: 0301822557



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios geológicos-geotécnicos tienen su esencia en las investigaciones *in situ*; de ellas se obtienen los parámetros y propiedades que definen el comportamiento del material que constituye el soporte de cualquier obra de ingeniería y representan, además, un punto crítico para la estimación del coste de un proyecto constructivo. Sin embargo, existe una predisposición a considerar “no rentable” la inversión en este tipo de investigaciones, delegándoseles presupuestos insuficientes, lo que se traducen en incertidumbres al momento de empezar a construir, sobrecostos y demoras en el proyecto. Todo esto provoca que se cumpla la máxima “las investigaciones *in situ* siempre se pagan, antes o después” (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Lograr disminuir costos y tiempo de ejecución representa mejores niveles de eficacia y eficiencia para las empresas que se dedican a procesos de planificación de obras. Los departamentos encargados de análisis de costos sugieren siempre aplicar métodos de optimización en el campo de la exploración del subsuelo, siendo la etapa de pre factibilidad y reconocimiento del terreno la predilecta para estos fines.

Todas las entidades públicas a cargo de proyectos viales en la zona austral del Ecuador utilizan equipos de laboratorio específicos para pruebas de resistencia al corte de los suelos con base en las normativas vigentes en el país. Si bien es cierto que los índices ampliamente utilizados como el CBR (*California Bearing Ratio*) y el SPT (*Standard Penetration Test*) son indispensables en la justificación de cualquier proyecto, existen otros, como el DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), que pueden resultar en estimaciones adecuadas del parámetro de resistencia del suelo a un costo mucho menor.

El uso de los conos de penetración dinámica puede ser ampliado a partir de la función específica para la que fue diseñada. Es decir, la incursión del equipo en ensayos con fines de Ingeniería Vial, puede, aparte de representar beneficios en el aspecto económico, ofrecer resultados representativos del material, previos a la utilización de los equipos tradicionales.

Existe un Penetrómetro Dinámico de Cono S-200 en el Laboratorio de Materiales y Geotecnia de la Universidad de Cuenca, desarrollado por George, F. Sowers en 1959, que presenta una limitación específica en su uso: el índice DCP (cantidad de golpes para una penetración de 44 mm) que ofrece, solo ha podido ser analizado mediante nomogramas con el índice SPT para una posterior correlación con el CBR obtenido en campo. Por otro lado, la Prefectura del Azuay posee un cono, de los desarrollados por el ingeniero neozelandés A.J. Scala en 1956, que ha sido ampliamente utilizado; de hecho, este tipo de cono está normado por la ASTM y sobre él se han desarrollado un sinnúmero de investigaciones.

Sobre esta base se plantea la determinación de correlaciones entre los índices que ofrecen cada uno de los conos, y el índice CBR. La ecuación del cono de Sowers servirá como una introducción a futuras investigaciones sobre el equipo y la del cono de Scala



representará una validación de este trabajo experimental para las condiciones que se expondrán más tarde.

Nota 1: Se presenta como una recomendación la lectura de la introducción del capítulo 6 del libro “Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones” (Sowers & Sowers, 1972).

1.2 ANTECEDENTES

El suelo es un material complejo que varía en sus propiedades de acuerdo a su formación y composición mineralógica, por lo que existe una gran cantidad de comportamientos distintos, haciendo complejo establecer rangos específicos en los mismos. Pero al ser el suelo un material indispensable como soporte de cualquier obra civil, es de vital importancia la caracterización de sus propiedades mecánicas mediante métodos confiables y, en la medida de lo posible, sencillos.

En un primer instante son muy útiles los aportes que ofrece la Geología para determinar la presencia de determinadas formaciones en lugares específicos y saber cuál es, en teoría, el tipo de material al que se va a enfrentar. Posteriormente los ensayos de laboratorio cumplen la función de evaluar y permitir la clasificación de los diferentes suelos.

En la obra “*Soil Mechanics in Engineering Practice*” (Terzaghi, Peck, & Mezri, 1948), Karl Terzaghi, el padre de la Mecánica de Suelos, explica de manera concisa las consideraciones para una adecuada concepción de los ensayos a realizar:

“Las investigaciones en Mecánica de Suelos han desviado la atención de una gran cantidad de profesores e investigadores de las principales limitaciones impuestas por la naturaleza en la aplicación de las matemáticas a los problemas de Ingeniería de Suelos. Como consecuencia se ha puesto mayor énfasis en el detalle de muestreo y pruebas, sin embargo, solo se pueden obtener soluciones precisas si los estratos de suelo son prácticamente homogéneos y continuos en direcciones horizontales. Además, las investigaciones que conducen a soluciones precisas implican métodos altamente especializados, por lo que solo se justifican en casos excepcionales. En la abrumadora mayoría de empleos no se necesita más que una previsión aproximada, y si no se puede hacer una previsión semejante por medios sencillos, no se puede hacer en absoluto”.

En definitiva, los esfuerzos de los Ingenieros de Mecánica de Suelos se han direccionado en la obtención de instrumentos que permitan encontrar las propiedades de los diferentes tipos de suelos, siendo la resistencia al corte, tal vez, la de mayor aplicabilidad en el desarrollo de proyectos civiles. Los ensayos realizados con los equipos dan como resultados índices que representan fielmente la propiedad buscada en cada caso. A partir de esto, los investigadores han incursionado en el desarrollo de correlaciones que simplifican en gran medida el uso de recursos, al ofrecer relaciones aproximadas entre diferentes parámetros; esto no significa que se pueda reemplazar los ensayos tradicionales en lo absoluto, sino que ofrecen alternativas de optimización de procesos.

Existe un sinnúmero de investigaciones realizadas para efectos de determinar correlaciones válidas entre los índices CBR y DCP (básicamente para el cono de A.J.



Scala), éstas se irán sustentando con base en la necesidad de justificar las decisiones que se han tomado en el presente trabajo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Al conocer de la existencia del Penetrómetro Dinámico de Cono S-200 en el laboratorio de la Universidad de Cuenca, se plantea como hipótesis la existencia de una correlación satisfactoria entre los índices DCP, de este equipo, y el CBR. La obtención de esta correlación representará, cuando no, una considerable reducción en el uso de recursos a la hora de emplear el cono, además de una apertura a futuras investigaciones con el equipo.

Así mismo, el Centro Tecnológico de la Construcción, laboratorio dependiente del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia del Azuay posee un cono, de los desarrollados por A.J. Scala, que está sujeto a normativas y que será utilizado para correlacionar el índice DCP que ofrece, con el CBR. La ecuación resultante será comparada con las ya existentes para este tipo de conos, para fines de validación de este trabajo experimental.

1.4 OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar correlaciones directas, tanto para el índice de resistencia de penetración del Penetrómetro Dinámico de Cono S-200, como para el índice de penetración (DCP) del Penetrómetro de AJ Scala, con el índice de soporte de California (CBR) obtenido mediante ensayos en el laboratorio.

ESPECÍFICOS

- Realizar los siguientes ensayos de laboratorio: Granulometría, Límites de Atterberg y Compactación, para efectos de clasificación y determinación de propiedades físicas de los suelos.
- Realizar ensayos CBR y de penetración dinámica, con los dos conos analizados, todos en laboratorio.
- Desarrollar una metodología para la determinación de una correlación entre los índices DCP y CBR.

1.5 ALCANCE

El presente trabajo desarrolla una correlación específica entre los índices DCP y CBR a ser utilizada en los suelos de la Formación Azogues.

Se presenta una primera ecuación para la aplicación del Cono S-200 en proyectos de Ingeniería Vial, siempre con fines de ampliar la investigación del equipo.

La correlación obtenida para el Cono de Scala, sirve para validar el trabajo experimental, al ser comparada con las otras correlaciones existentes en la literatura revisada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Debido a la naturaleza de este trabajo experimental, se ha procedido a exponer las bases más ampliamente reproducidas y aceptadas con relación a la determinación de las propiedades mecánicas de los suelos, además de las correlaciones existentes entre los índices resultantes de aquellos procedimientos. Las propiedades físicas de los suelos, al no ser el eje central del tema, serán brevemente explicadas en la sección posterior.

2.1 ENSAYO DCP (PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO)

Es un tipo de ensayo de penetración empleado para la determinación de las características de un suelo, como parte de la técnica de reconocimiento del terreno. Consiste en la introducción en el terreno de un elemento de punta cónica unida a un varillaje.

La penetración se realiza debido a una masa de peso definido sobre un cabezal colocado en la parte superior del varillaje, la masa se levanta y se deja caer libremente. El resultado del ensayo es el número de golpes necesario para penetrar una profundidad determinada, siempre dependiendo del tipo de cono que se esté utilizando.

2.1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

Las penetraciones sucesivas dentro del suelo, causadas por la caída del martillo, conllevan a conceptualizar el clásico fallo por corte local y general. Es decir, la introducción de la punta del cono conlleva la deformación del suelo como en un ensayo de corte.

Antes de que la punta del cono se introduzca en el sitio del ensayo, el suelo está en un estado de equilibrio elástico. Cuando la punta del cono es introducida dentro de la superficie de prueba, el suelo pasa a un estado de equilibrio plástico (zona I). Asumiendo un suelo ideal y una superficie regular en la punta del cono, la zona de equilibrio plástico es subdividida en una zona cono-formada (más tarde desplazada por la punta del cono), una zona anular de corte radial que emana de los bordes exteriores del cono y una zona anular conocida como zona pasiva de Rankine (ver Figura 1):

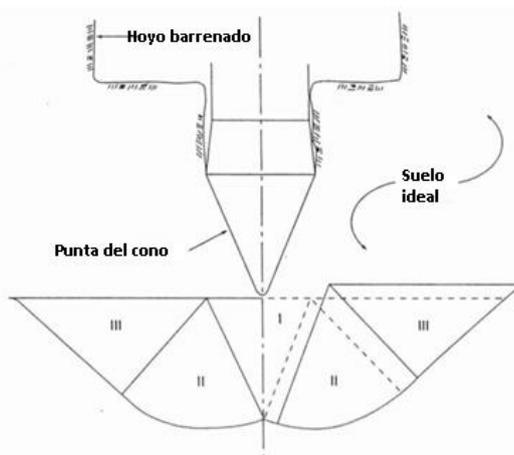


Figura 1. Límites teóricos de la falla plástica

Fuente: Publicación técnica especial ASTM #399

En las líneas punteadas de la figura, se indican los límites de la zona I y III al momento de falla, o movimiento del penetrómetro y las líneas sólidas representan los mismos límites después que la punta del cono está dentro del nivel de prueba. De ésta se describe en forma general la condición que existe mientras que la punta del cono penetra; es necesario recalcar que esto no implica una racionalización completa o precisa.

2.1.2 CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DCP-S200

En 1959 el Profesor George F. Sowers desarrolló este equipo, para la exploración de campo y la evaluación de cimentaciones de poca profundidad ligeramente cargadas durante la fase de construcción. El cono dinámico es una herramienta útil para el control del proceso constructivo de estructuras pequeñas, donde no se cuenta con un presupuesto para realizar un estudio especializado de suelo o donde no hay acceso a maquinaria perforadora.

Nota 2: Para una profundización de la base teórica del funcionamiento del cono dinámico de penetración se puede consultar la publicación técnica especial #399 de la ASTM International (Sowers & Hedges, 1966).

2.1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo descrito en la figura 2, utiliza una maza deslizante de 15 lb, con una caída libre de 20" (51 cm) para golpear un retén o yunque unido por una barra guía. El bloque de yunque golpea una punta de cono de 45° y 1.5" (3.8 cm) de diámetro, que ha sido asentada sobre la parte inferior del agujero, introduciéndola en el suelo.

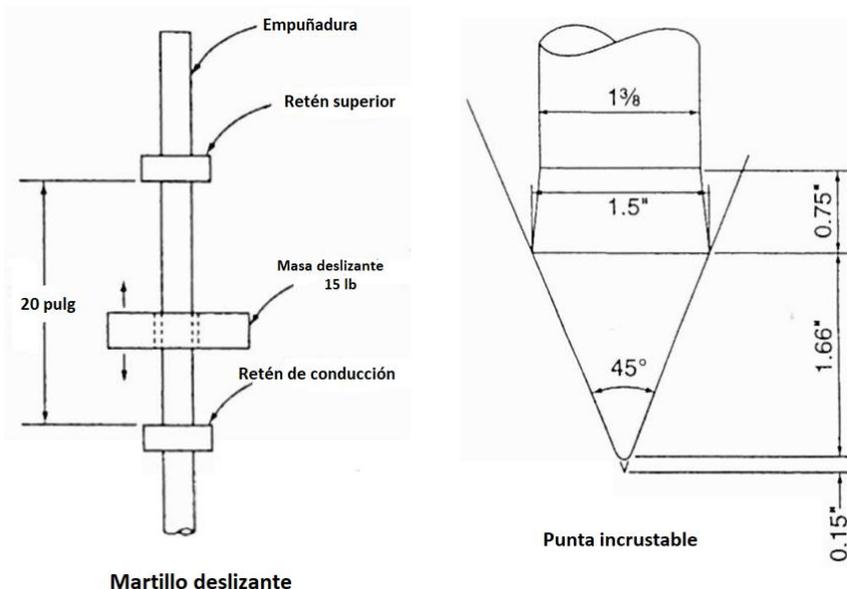


Figura 2. Cono de penetración dinámica s-200
Fuente: Publicación técnica especial ASTM #399



2.1.2.2 PROCEDIMIENTO

Al no existir una normativa oficial para el equipo, el procedimiento sugerido tendrá base en la guía para el usuario presentada por el fabricante del equipo (GeoDurham, 1966). De donde se procede como sigue:

El ensayo de penetración se hace a través de un agujero hecho con un barrenador de 10 a 15 cm de diámetro, que se usa para extraer una muestra que posteriormente sirve para realizar la clasificación del suelo. La prueba se ejecuta luego de realizar la perforación de 15 cm de diámetro, hasta una profundidad deseada.

La punta del cono debe penetrar 5 cm en el fondo del agujero, para estar seguro que el cono está completamente empotrado. La punta del cono debe penetrar 4,4 cm adicionales a los 5 cm de la primera penetración provocada por la caída de 51cm del martillo. Estos golpes se registran, lo que representa, según el cono, el número "N"; si es necesario se realiza una segunda y tercera prueba con incrementos adicionales de 4,4 cm en la misma perforación, obteniendo números "N" adicionales. Aunque los fabricantes no consideran totalmente necesario realizar una segunda y tercera prueba con el cono, es recomendable tomar las tres lecturas del número "N" para tener una mayor certeza en los resultados.

Más allá de tres profundidades alcanzadas (13,2 cm), el efecto de fricción lateral producida por el cono puede aumentar considerablemente; y la forma de la zona de corte puede ser alterada, afectando el número de golpes contados.

2.1.3 CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA SEGÚN NORMA ASTM D 6951-03

Su utilización de manera técnica nace a partir del desarrollo del equipo, en Nueva Zelanda, por el ingeniero A.J. Scala que presentó su primer artículo (Scala, 1956) en la Segunda Conferencia de Mecánica de Suelos de Australia y Nueva Zelanda. Tuvo amplia reproducción sobre todo en Oceanía, Sudáfrica y los Departamentos de Transporte de Estados Unidos.

El equipo es utilizado para evaluar la resistencia *in situ* de los suelos no alterados o materiales compactados, y estimar un valor de CBR en campo. Implícitamente, el DCP que ofrece el equipo, en milímetros por golpe, realiza una buena aproximación de la capacidad estructural de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento.

2.1.3.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) consiste en una barra de acero de 15.8 mm (5/8") de diámetro con una punta cónica recambiable o desechable, un mazo de 8 Kg. (17,6 lb) el cual es soltado de una altura de 575 mm (22,6"), un ensamblaje de acople, una empuñadura y una regla de medición. La punta cónica tiene un ángulo de 60° y un diámetro en la base de 20 mm (0,79"). La configuración del equipo se puede ver en la Figura 3:

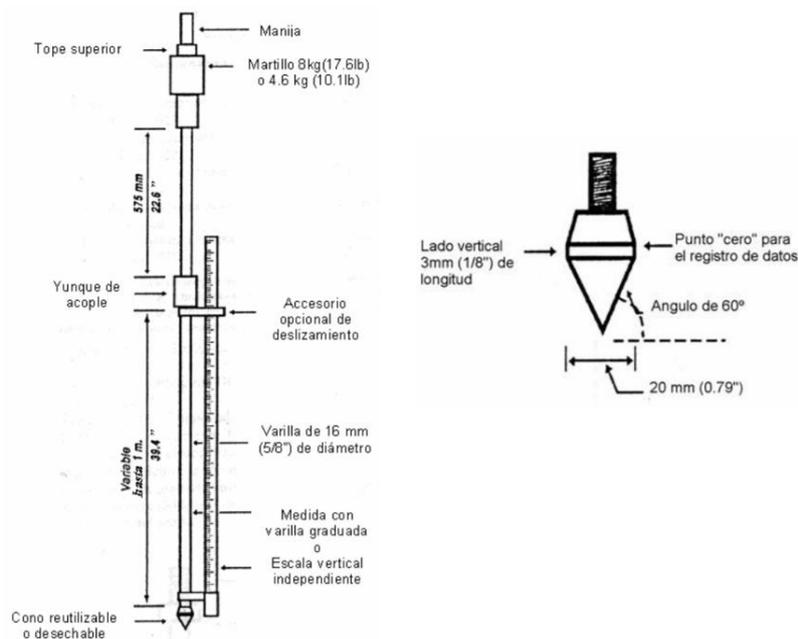


Figura 3. Esquema del equipo DCP

Fuente: Norma ASTM D 6951-03

2.1.3.2 PROCEDIMIENTO

En un primer instante, la punta del DCP se dirige dentro de la superficie del suelo a ser ensayado, luego se levanta el martillo deslizante hasta la manija y se suelta para que caiga libremente hasta golpear el yunque. La penetración total para un determinado número de golpes es medida y registrada en términos de milímetros por golpe, DCP, valor que es utilizado para estimar la resistencia a la penetración del suelo. En caso de existir información geológica, se pueden correlacionar las diferentes capas de suelos (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

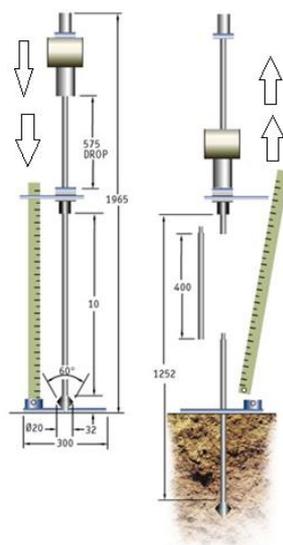


Figura 4. Ensayo DCP in situ

Fuente: Dynamic Cone Penetrometer (Controls Group)

2.2 COMPACTACIÓN DE SUELOS

La compactación es un proceso aplicado a los suelos, mediante el cual se obliga a reducir el índice de poro, e , y aumentar el peso específico seco, γ_d , con el fin de disminuir el volumen de vacíos presentes en la masa.

El objetivo de la compactación es el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo como la resistencia al corte y a la deformación. Con esta técnica se reduce la compresibilidad y la capacidad para absorber el agua que tiene el suelo. La compactación muy intensa produce un material susceptible al agrietamiento, es por tanto indispensable apegarse a las normativas establecidas para determinar el rango donde el suelo trabaja de la mejor manera. Este aspecto es controlado por la humedad y densidad del suelo, cuya determinación será estudiada en las siguientes subsecciones.

2.2.1 ENSAYO PROCTOR

Ralph R. Proctor desarrolló en 1933 un ensayo de compactación, con fines económicos, en el que se aplica un tipo de energía dinámica. El procedimiento de la prueba Proctor consiste en dejar caer un martillo, desde una altura conocida, con un número de impactos determinado sobre varias capas dentro de un molde estándar, a fin de obtener un volumen conocido. La figura 5 presenta el equipo que ideó Proctor para el ensayo:



Figura 5. Equipo de compactación en laboratorio

Para el ensayo, se estableció que, manteniendo la misma energía de compactación, el peso específico seco se incrementa a medida que incrementa el contenido de agua (ver Figura 6), esto debido a que el agua que contiene los poros actúa como lubricante de las partículas, dando como resultado el reacomodo de éstas. El incremento del peso específico seco se da hasta un valor máximo, donde el contenido de agua es conocido como humedad óptima; después de ese valor, al incrementar la humedad el peso específico disminuye debido a que el contenido de agua en los poros absorbe la energía de compactación y esto impide que las partículas se unan (Proctor, 1933).

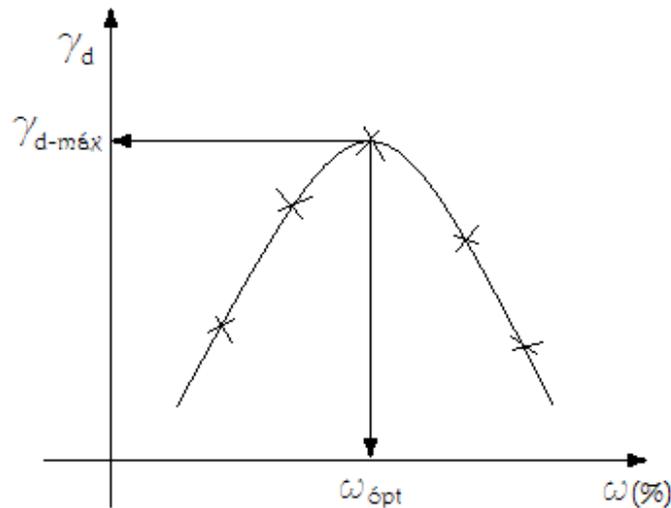


Figura 6. Curva de compactación Proctor

Fuente: Compactación de suelos, (Armas Novoa, Compactación de Suelos, 2002).

En la figura 6 se puede observar los parámetros fundamentales de un ensayo de compactación: humedad óptima, $\omega_{\text{ópt}}$, y peso específico seco máxima, $\gamma_{d-\text{máx}}$, a los cuales Proctor, desde la concepción económica del ensayo, relacionó de la siguiente manera: “la humedad óptima es la necesaria para obtener el peso específico seco máximo con una misma energía de compactación, o sea, con mismo costo”. Estos conceptos están asociados a una determinada energía de compactación, que será discutida en la siguiente sección.

2.2.2 ENERGÍA DE COMPACTACIÓN

La energía de compactación es una medida de la energía mecánica aplicada a la masa del suelo. En campo, el esfuerzo de compactación está relacionado con el número de pases de un rodillo, el número de golpes de un peso al caer, la energía en una explosión y otras similares, sobre un volumen de suelo. (Armas Novoa, Presas de Tierra, 1987).

En laboratorio, la energía de compactación dinámica *Tipo Proctor* es aplicada por impacto, y puede ser calculada mediante la ecuación:

$$E_c = \frac{W \cdot h \cdot n \cdot N}{V} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- E_c = Energía de compactación Tipo Proctor.
- W = Peso del pisón compactador.
- h = Altura de caída del pisón o martillo.
- n = Número de capas.
- N = Numero de golpes por capa.
- V = volumen del molde de compactación.

El desarrollo de los equipos de compactación en el campo llevó a obtener densidades secas mayores que por el procedimiento Proctor Estándar, debido a las exigencias en la

construcción de aeropistas. Por ello se ideó otra prueba de compactación tipo Proctor, denominada Proctor Modificado, basada en el mismo principio, incrementando la energía específica de compactación. Las particularidades de cada ensayo son:

La prueba original conocida como *Proctor Estándar* se encuentra normada en (ASTM D 698, 2012) y en su procedimiento se debe aplicar una energía de compactación $E_c = 12375 \frac{lb-pie}{pie^3}$. Las especificaciones de este ensayo son:

- W=5.5 lb.
- h=1 pie.
- n= 3 capas.
- N=25 golpes/capa.
- V=1/30 pie³ (4" de diámetro).

En la ejecución de la prueba del Proctor Modificado se aplica una energía de compactación $E_c = 56000 \frac{lb-pie}{pie^3}$, además de variar el peso y altura del martillo, y el volumen del cilindro:

- W=10 lb.
- h=1.5 pie.
- n= 5 capas
- N=56 golpes/capa
- V=3/40 pie³ (6" de diámetro).

Los resultados de los ensayos Proctor Estándar y Proctor Modificado para un mismo suelo, se presentan en la figura 7:

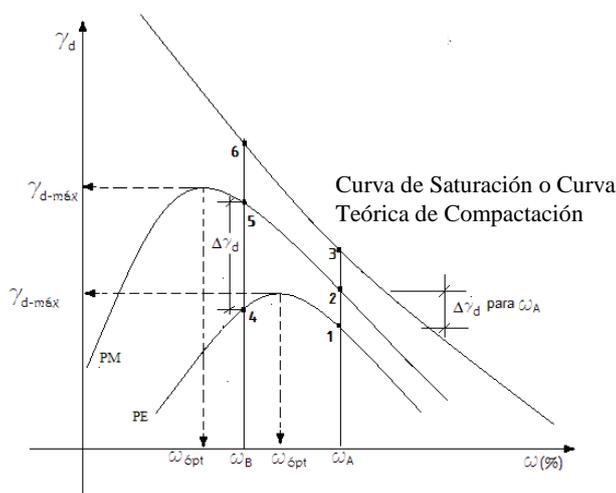


Figura 7. Curva de compactación y saturación.

Fuente: Compactación de suelos, (Armas Novoa, Compactación de Suelos, 2002).

La humedad del suelo no varía con la compactación, por lo que si compactamos un suelo y lográramos eliminar todo el aire de los poros, se lograría la saturación; S =100%. Esta condición se expresa mediante la expresión:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{\omega + 1/G_s}$$

Donde:

- γ_w = Peso específico del agua = 9.807 kN/m³
- ω = humedad, expresada en tanto por uno
- G_s = peso específico relativo de las partículas sólidas (adimensional).

Un concepto básico en los procesos de compactación, para suelos con un contenido de finos mayor al 12%, es: “no es posible, por ningún medio mecánico de compactación, expulsar todo el aire de los poros de suelo”, por lo que tampoco se logra la saturación del mismo. Es por ello que la “*curva de saturación*” se denomina también “*curva teórica de compactación*” (Armas Novoa, Compactación de Suelos, 2002).

2.3 ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

El *California Bearing Ratio* (CBR) es un ensayo de penetración que sirve para determinar la capacidad de soporte de un suelo compactado en laboratorio, bajo condiciones de humedad óptima y niveles de compactación variables, y está enfocado en evaluar la calidad del material para su uso en las capas de un pavimento. El valor CBR se presenta como una relación entre la resistencia a la penetración del suelo ensayado y la resistencia que ofrece la piedra picada de California cuyo valor de soporte ha sido establecido en 100%, siendo esta última la piedra estándar.

Este ensayo fue propuesto por los Ingenieros Stanton y Porter del Departamento de Transporte de California en 1929. Sin embargo, su aceptación como norma técnica empieza allá en el año de 1964 cuando la *American Standard of Testing and Materials* presenta los informes, tanto para laboratorio como para campo.

2.3.1 PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo del ensayo en laboratorio, acorde a los objetivos planteados de este trabajo, se toma como referencia la norma (ASTM D 1883, 2016).

Siendo el CBR un ensayo de carga, se usa un pistón metálico de 2.80 pulg², para penetrar la superficie de un suelo, compactado acorde a ensayos Proctor, a una velocidad constante de penetración de 0.5 pulgadas/min (ver Figura 8).

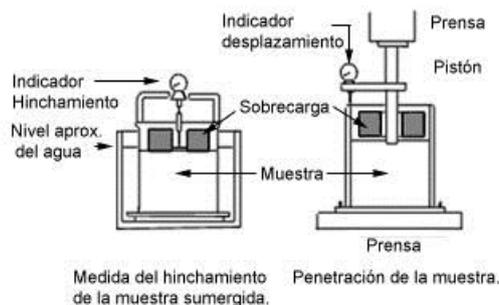


Figura 8. Equipo para ensayo CBR de laboratorio

Fuente: Sistematización de los Medios de Compactación y su Control (M.O.P.U, 1987)

El ensayo se realiza en muestras sumergidas en agua, por un lapso de 96 horas, bajo la aplicación de una sobrecarga de 10 libras, que simula las condiciones de trabajo más desfavorable. A lo largo de los 4 días en que la muestra está sumergida, se debe tomar lecturas con un deformímetro de laboratorio para determinar la expansión que se presente.

Una vez que las muestras son llevadas a la prensa hidráulica, se debe registrar la carga unitaria en el pistón para penetrar 0.1 pulgadas (0.25 cm) y 0.2 pulgadas (0.50cm); estos valores se introducen, independientemente, en la Ecuación 2 y se obtiene un valor, en porcentaje, del índice CBR:

$$CBR (\%) = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Los valores de carga unitaria patrón que deben ser usados en la ecuación son:

Tabla 1. Valores de penetración y carga unitaria patrón

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos (Bowles, 1981)

Penetración pulg	Carga unitaria patrón lb/pulg ²
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

En caso de que el valor de CBR a una penetración de 0.2", sea mayor al que resulte de la penetración a 0.1", el ensayo debería repetirse; si un segundo ensayo esto sucede nuevamente, dicho valor debe aceptarse como valor final del ensayo.

2.3.2 APLICACIÓN DE RESULTADOS

El resultado del ensayo CBR permite clasificar el material para establecer su uso en la construcción de carreteras, además de relacionarlo con la clasificación del tipo de suelo. La Tabla 2 presenta las clasificaciones típicas:

Tabla 2. Clasificación del material en función del CBR

Fuente: El Manual del Asfalto (The Asphalt Institute, 1962).

CBR	Clasificación General	Usos	SUCS	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Subrasante	OH, CM, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CM, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Muy bueno	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3



Estos valores son ampliamente utilizados en el diseño de pavimentos; para tales efectos el lector puede consultar el libro “Ingeniería de Pavimentos” (Montejo Fonseca, 2008).

2.4 IMPORTANCIA DE UNA CORRELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES CBR Y DCP

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

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

El ensayo DCP presenta ventajas fundamentales en el campo de investigación del subsuelo: entre las más destacadas se puede contar la facilidad de fabricación del equipo, la relativa simpleza en la realización del ensayo y el bajo costo de inversión. De hecho, el factor más determinante para explicar su popularidad es que puede ofrecer estimaciones eficaces del índice CBR en un periodo de alrededor de 15 minutos (Jahren, Ellsworth, & Bergeson, 1999).

Si bien es cierto que para poder plantear técnicamente una correlación entre los dos parámetros es necesaria una amplia base de datos, ésta ya ha sido obtenida a día de hoy por las diversas investigaciones realizadas a nivel mundial. Entonces, el planteamiento de una correlación entre los índices analizados representa, cuando no, un método de optimización a considerar en las etapas previas a la construcción de obras viales.

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

2.5 CORRELACIONES EXISTENTES ENTRE EL DCP Y CBR

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

Por otro lado, el cono más utilizado, de Scala, ha sido evaluado en diferentes partes del planeta. Estudios y pruebas realizados en campo por investigadores geotécnicos, por



ejemplo (van Vuuren, 1969), (Kleyn, 1975) y (Livneh & Ishai, 1987), han sido esenciales para la evaluación de las estructuras del pavimento, siendo de especial importancia el primero, pues representa un primer intento por establecer una correlación para el índice DCP con el CBR.

Las organizaciones privadas de consultoría en transporte también han desarrollado ecuaciones que pueden ser utilizadas como base de este trabajo: por ejemplo, la propuesta por el *Transport and Road Research Laboratory* (Thrower, Mortazavi, & Dougill, 1986) de Inglaterra. Existen otras investigaciones realizadas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (Webster, Grau, & Williams, Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer, 1992), que presentan otras correlaciones obtenidas para los parámetros analizados. Las ecuaciones se pueden ver en la Tabla 3.

Tabla 3. Correlaciones entre el número DCP y CBR

Fuente: Norma ASTM D 6951-03

Ecuación	Autor (es)	Observaciones
$CBR (\%) = \frac{292}{DCP^{1.12}}$	Van Vuuren (1969)	Apta para todo tipo de suelos (granulares y cohesivos).
$CBR (\%) = \frac{208}{DCP^{0.86}}$	Transport Road Research TRRL (1986).	Apta para todo tipo de suelos.
$CBR(\%) = \frac{1}{0.002871 * DCP}$	Webster S.L. et al. (1994).	Para suelos CH.
$CBR(\%) = \frac{1}{(0.017019 * DCP)^2}$	Webster S.L. et al. (1994).	Para suelos CL con CBR<10%.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

En la zona donde se tomarán las muestras, se dispone de información de ingeniería geológica y geofísica, realizada para los diseños definitivos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Guangarcucho (ETAPA - EP, 2017). En la plataforma superior del área de proyecto se ha realizado perforaciones de 1, 2, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 10 y 12 metros. Todos los resultados existentes en el informe citado, serán utilizados para contrastar la información que se vaya obteniendo con los ensayos propuestos en este trabajo experimental.

El área de estudio pertenece a la provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquia Nulti, ubicada, mediante georreferenciación, en las coordenadas 734815-9685281, 734787-9685321, 734860-9685428 y 735010-9685366. Se puede acceder a la zona tanto por la vía rápida Cuenca-Azogues como por la Carretera Panamericana que en el Ecuador toma el nombre de Troncal de la Sierra (E35).

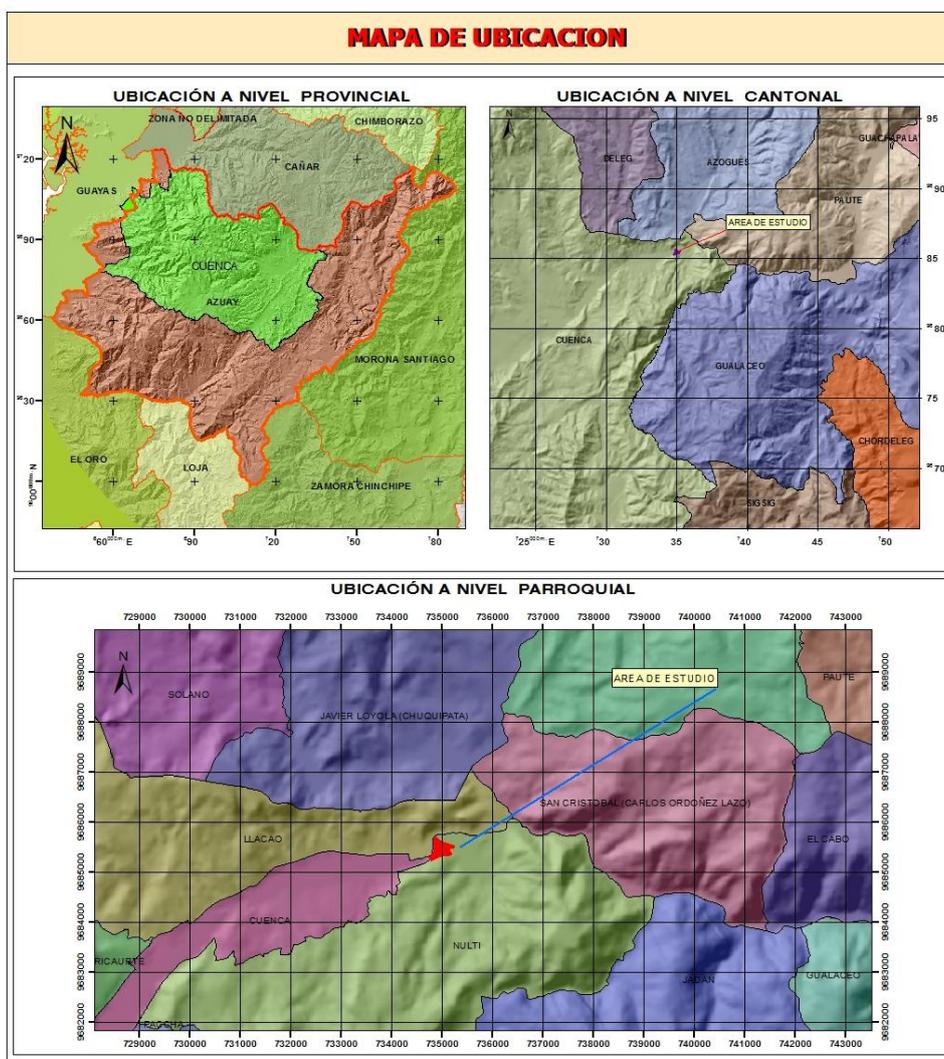


Figura 9. Mapa de ubicación de la zona de estudio

Fuente: Informe geológico-geotécnico PTAR Guangarcucho (ETAPA)

3.1.1 GEOLOGÍA

En una reciente publicación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Burbano O., Becerra P., & Pasquel S., 2014) se presenta una sinopsis geológica para la zona en la que se realiza los estudios: “La unidad constituye una fosa cuyo sustrato está conformado por formaciones cretácicas, mismas que fueron descubiertas secuencialmente por formaciones, desde miocénicas hasta recientes”.

Con base en la información técnica consultada, se determina que la “Formación Azogues” aflora en la zona de estudio, constituida por una secuencia litológica sedimentaria, típicamente detrítica, en la que se pueden apreciar básicamente: areniscas tobáceas de grano medio a grueso, café amarillentas, con capas de lutitas, limolitas, además de intercalaciones de conglomerados en menor cantidad. La formación está presente a lo largo de toda la cuenca sedimentaria, en los flancos del anticlinal de Cuenca, sinclinal de Azogues.

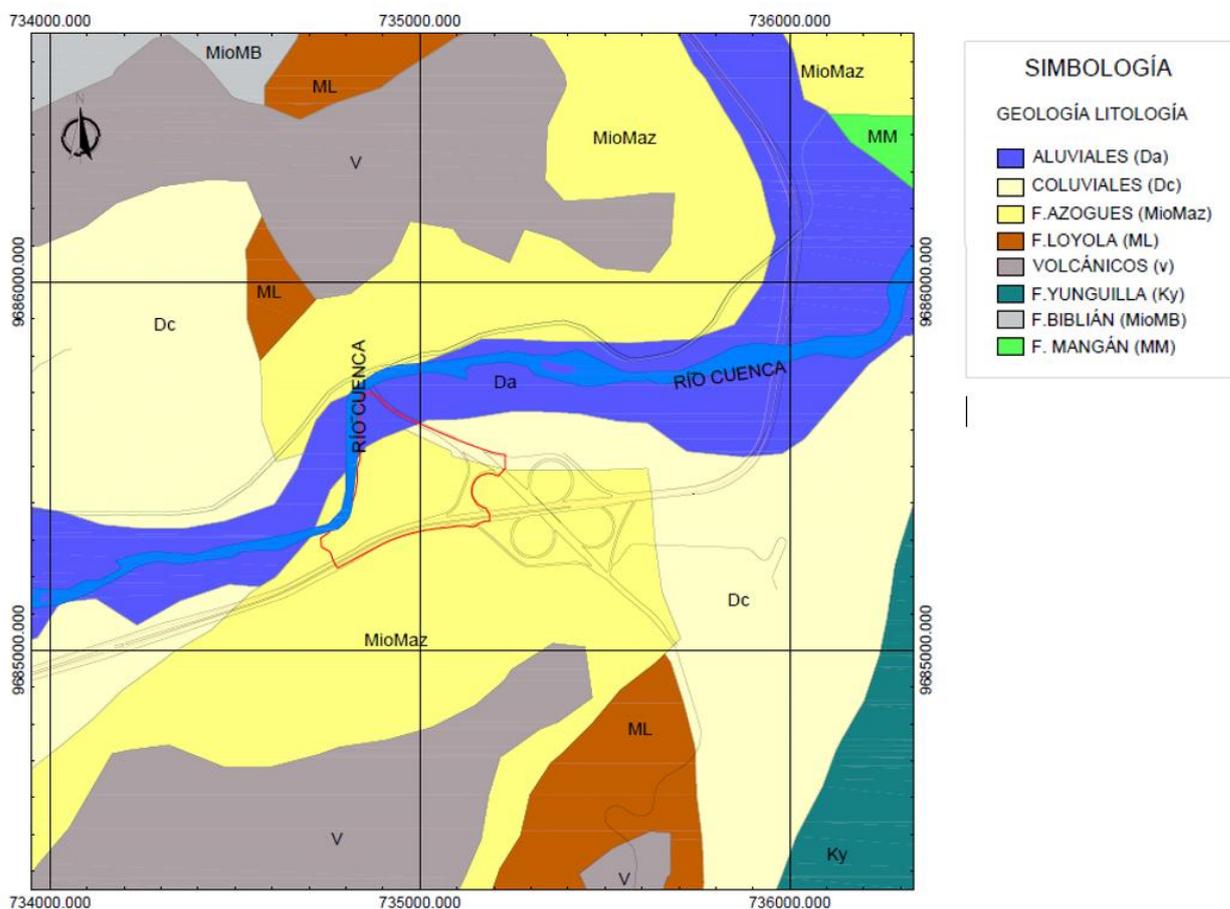


Figura 10. Geología local de la zona de estudio

Fuente: Informe geológico-geotécnico PTAR Guangarcucho (ETAPA)

3.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Se optó por la realización de tres calicatas ubicadas en las coordenadas 734926 – 9685350 y colindantes (ver Anexo Fotográfico 1), con el fin de tener una mejor visión de



los estratos y para mayor comodidad de los operadores de la maquinaria que trabajará en esta etapa del proyecto.

El material necesario para la realización de los ensayos de laboratorio ha sido obtenido de cada una de las tres calicatas, a profundidades de 0.50, 1.50 y 2.50 metros respectivamente. La cantidad de material recolectado es suficiente para cubrir la necesidad de los ensayos, teniendo en cuenta una cantidad extra para eventualidades.

3.3 METODOLOGÍA PARA OBTENER PARÁMETROS FÍSICOS Y MECÁNICOS DEL SUELO

Previo la determinación de las características físicas del suelo, se ha propuesto realizar los siguientes ensayos: Granulometría, Contenido de humedad, Límites de Atterberg y Clasificación del suelo mediante los sistemas: Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) y el propuesto por la *American Association of State Highway Transportation Officials* (AASHTO).

Por otra parte, las propiedades mecánicas tendrán base en ensayos de compactación, *Proctor* Modificado; Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP), tanto el de Sowers como el de Scala, y el California Bearing Ratio (CBR), todos en laboratorio.

3.3.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

Para determinar el contenido de agua de las muestras, el ensayo se lo realiza mediante la norma 690 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, (INEN, 1982).

La humedad es la cantidad de agua que se encuentra presente en la masa del suelo y se determina mediante secado de una porción de la muestra en un horno, que tenga una temperatura constante de $105\pm 5^{\circ}\text{C}$. La cantidad se expresa como porcentaje respecto a la masa seca.

El contenido de humedad es de vital importancia en la determinación de las propiedades físicas de los suelos. De hecho, ese valor de contenido de agua, expresado en porcentaje, es el valor buscado en casi la totalidad de los ensayos que se exponen a continuación.

3.3.2 LIMITES DE ATTERBERG

Albert Atterberg, científico sueco dedicado a la agricultura, propuso cinco límites para los suelos: cohesión, pegajosidad, contracción, plástico y líquido (Atterberg, 1914). Sin embargo, los más ampliamente utilizados a nivel mundial han sido los tres últimos; de hecho, solo en los últimos años se ha extendido el conocimiento que fueron cinco y no tres los límites propuestos por Atterberg. Los límites líquido y plástico son los más utilizados en el área de la Geotecnia, con especial énfasis en los procesos de clasificación de suelos. La figura 11 presenta la posición de los diferentes límites en una escala ascendente de humedad.

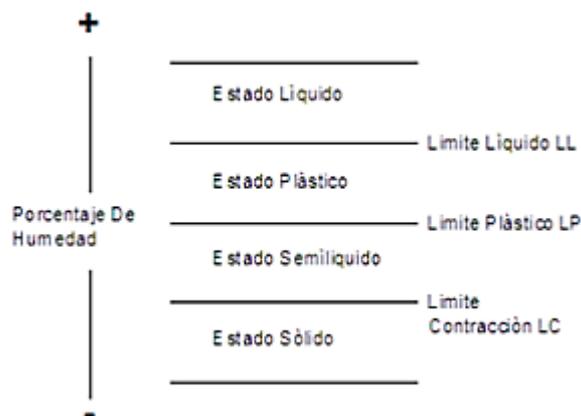


Figura 11. Estados del suelo, según su contenido de humedad
Fuente: Manual de laboratorio de suelos (Bowles, 1981).

Para la determinación de los límites líquido y plástico se utiliza el material que pasa el tamiz N° 40. Según el manual de laboratorio consultado (Bowles, 1981), es de especial interés el comportamiento de la humedad del suelo previo la preparación de la muestra: “el suelo traído del campo se encuentra en un estado de humedad demasiado alto para pasar a través de la malla No. 40. Entonces es permisible, y sugerido por la norma ASTM D421-58, secar al aire el suelo...”. Sin embargo, investigaciones del mismo autor han demostrado que este secado al aire disminuye entre un 2 y 6% el valor del límite líquido, por lo que se recomienda, mediante una inspección visual, utilizar el material que puede pasar la malla No. 40, con su humedad natural.

3.3.2.1 LÍMITE LÍQUIDO

Según la normativa ecuatoriana vigente, el límite líquido será determinado con base en la norma 691 del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 1982).

Este ensayo se realiza mediante el método de la copa de Casagrande (ver Figura 12), que determina el contenido de agua en forma de porcentaje de un suelo, cuando este está entre el estado líquido y el estado plástico.

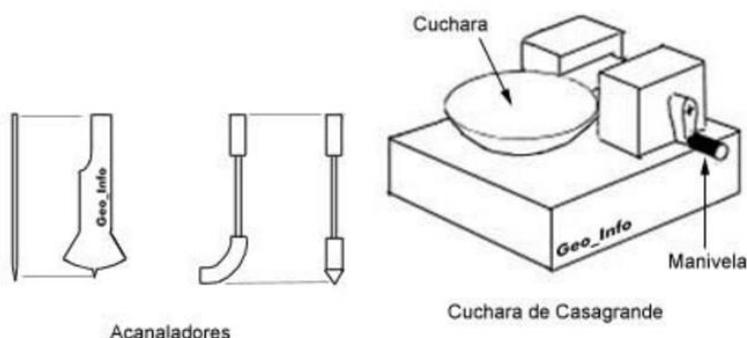


Figura 12. Copa de Casagrande
Fuente: M.O.P.U. 1987 Sistematización de los Medios de Compactación y su Control



Arthur Casagrande estableció que: “el límite líquido se define para el contenido de humedad a la cual es necesario dar 25 golpes a la cazuela para cerrar en una longitud de 12.7 mm la ranura hecha con la herramienta patrón”.

Debido a la escasa probabilidad de que se logre encontrar en un solo ensayo lo establecido por el científico sueco, para el presente caso se ha propuesto lo siguiente: se va a determinar el número de golpes necesarios para que dos mitades de suelos se unan continuamente (aprox. 10 mm), por fluencia del suelo. Los datos (número de golpes y humedad) son registrados para posteriormente ser graficados en una escala semi-logarítmica, determinando así la curva de flujo; mediante interpolación se determina el contenido de agua a los 25 golpes, que se asume como el límite líquido.

Vale recalcar que el límite líquido es una medida de la resistencia al corte del suelo que contiene una humedad específica. Se ha determinado un valor de 1 gr/cm² para cada golpe que cierre la ranura provocada, en el suelo, para el ensayo (Casagrande, 1932).

3.3.2.2 LÍMITE PLÁSTICO

El límite plástico será determinado con base en la norma 692 del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 1982).

La prueba permite determinar el contenido de agua en porcentaje de un suelo, en el que el suelo está entre el estado plástico y estado semisólido.

Arbitrariamente el límite plástico se puede definir como el contenido de humedad del suelo al cual una porción de suelo enrollado, con 3 mm de diámetro aproximadamente, se rompe o empieza a presentar agrietamientos longitudinales. El ensayo se lo realiza con la palma de la mano sobre una placa de vidrio.

La determinación del parámetro depende totalmente del criterio del operador, siempre que se siga las recomendaciones presentadas en las normativas.

3.3.3 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Este ensayo se lo practica bajo la norma 696 (INEN, 2011).

Los ensayos de granulometría representan un intento por determinar las proporciones existentes de los diferentes tamaños de grano en una masa de suelo analizada. La serie de mallas más ampliamente utilizada en nuestro medio es la expuesta en la normativa norteamericana (ASTM E 11, 2017).

Se realiza de la siguiente manera: luego de haber lavado el material, se obtiene una muestra de suelo que esté en condiciones secas y con disgregación de grumos; el material se hace pasar por una serie de tamices normados en orden descendente. Al cabo de cinco minutos se procederá a pesar la masa retenida en cada tamiz; el peso obtenido es relacionado con el peso total que se introdujo en el ensayo y se determina el porcentaje de cada tamaño de grano para la construcción de la curva granulométrica.

Siguiendo con la metodología presentada en los ensayos de límites de Atterberg, se realizarán 3 ensayos para cada una de las muestras.



3.3.4 CLASIFICACIÓN DEL SUELO

El comportamiento ingenieril de los suelos permite la clasificación de estos en grupos y subgrupos, con base en propiedades similares. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos (Das, Braja M, 2001). Se ha procedido a clasificar los suelos por los 2 sistemas más ampliamente utilizados: SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y AASHTO (*American Association of State Highway Transportation Officials*); siendo el sistema unificado el preferido por los ingenieros geotécnicos, mientras el método desarrollado por los norteamericanos está más ligado al campo de los ingenieros viales.

3.3.4.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN, SUCS

La clasificación SUCS se realiza acorde a lo recomendado por la *American Standard of Testing Materials* (ASTM D 2487, 2011).

Este método fue propuesto por Casagrande en 1948, en el que dispone una clasificación en dos grupos:

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

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

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

3.3.4.2 SISTEMA ASSHTO

La clasificación propuesta por la ASSHTO es realizada a partir de la norma (ASTM D 3282, 2015).

De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales A-1 a A-7; los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos del material pasan a través del tamiz N° 200. Los suelos donde más del 35% pasan el tamiz N° 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7; éstos son principalmente limos y arcillas.

3.3.5 ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO)

La norma que rige el ensayo es la (ASTM D 1557, 2012).

Los parámetros buscados con el ensayo son el peso específico seco máximo y la humedad óptima; con una energía de compactación de 56000 lb/pie³. El ensayo se realizará en un molde de 6 " de diámetro y 4.5 de altura; con un pistón de 10 lb de masa; una caída del martillo de 1.5 pies sobre cada una de las 5 capas con 56 golpes que serán proporcionadas.

Serán practicados tres ensayos en cada una de las muestras, otra vez con fines de mejorar la determinación de resultados finales.

3.3.6 ENSAYO CBR EN LABORATORIO

Este ensayo será realizado conforme a la norma (ASTM D 1883, 2016).

El objetivo de realizar este ensayo es determinar el índice CBR, para el 95% de una densidad seca máxima del *Proctor* modificado. Con el fin de obtener valores representativos se realizarán dos ensayos CBR, con nueve muestras cada uno, las cuales serán compactadas, de tres en tres, con 10, 25 y 56 golpes mediante energía Tipo Proctor. Es decir, un total de 18 muestras.

En el proceso de preparación de las muestras, el material usado tendrá un diámetro menor a $\frac{3}{4}$ de pulgada y la compactación se realizará en 5 capas como se indica en la norma

Las muestras se sumergirán durante 4 días, tal como indica la norma. Las lecturas de expansión serán registradas cada 24 horas hasta llegar a las 96, tomando en cuenta que el ensayo de expansión puede darse por terminado después de 48 horas si las lecturas del deformímetro se mantienen constantes por lo menos durante 24 horas (Bowles, 1981).

Los primeros resultados obtenidos en las lecturas del ensayo en la prensa hidráulica, serán procesados para determinar cuáles necesitan ser corregidos con base en el criterio del cambio de concavidad, de convexo a cóncavo. Luego de esta corrección, se determinarán los resultados finales a ser utilizados.

3.3.7 ENSAYO DCP EN LABORATORIO

Se ha decidido utilizar dos equipos para la determinación de sus respectivos parámetros de penetración. El primero es el DCP S-200 cuya información básica se puede observar en la sección 2.4.2. El segundo cono que se utilizará es el desarrollado por AJ Scala, cuya información se puede revisar en la sección 2.4.3 y responde a la norma (ASTM D 6951, 2003).

El número de golpes para la penetración de 44 mm será llamado DCP Sowers, mientras que en el cono normado, el valor medido de la penetración, en milímetros, por cada golpe apestado será el índice DCP. Estas variaciones en los registros, ya ha sido discutido en la sección dos.

Las probetas donde se realizan las pruebas, de cada cono, tienen 6" de diámetro, y 7" de altura, la muestra será compactada, con energía de Proctor Modificado, en 8 capas, obtenido a partir de la ecuación 1.



La intención de someter a la muestra de suelo a las mismas condiciones tanto en el ensayo del DCP como en el de CBR, han fundamentado la decisión de utilizar el molde de este último para la realización de ambas pruebas. Sin embargo, algunas investigaciones (Mohammadi, Nikoudel, Rahimi, & Khamehchiyan, 2008) y (Abu-Farsakh & Titi, 2004) han determinado que es conveniente utilizar moldes cúbicos de 70 cm de lado para eliminar completamente el efecto que produce el tamaño del molde, cuestión que se deja abierta al lector para una posible continuación de esta investigación.

3.4 NÚMERO DE ENSAYOS A REALIZAR

A partir de la revisión de literatura, se pudo establecer que los resultados de la prueba DCP presentan una distribución entre ellos. Esto significa que una sola prueba DCP realizada, no será necesariamente representativa del suelo (Ganju, Kim, Prezzi, Salgado, & Siddiki, 2016). Es además necesario recalcar que una gran variación en los parámetros de contenido de humedad y densidad condiciona la decisión del número de muestras y lugar en donde ensayar en el campo (Davich, Camargo, Larsen, Roberson, & Siekmeier, 2006), esto ha llevado a sugerir que no se debe imponer reglas tan estrictas a lo hora de determinar el número de ensayos a realizar (Webster, Grau, & Williams, Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer, 1992).

Además, estudios de investigación sugieren que los resultados del ensayo DCP son reproducibles y confiables (Dai & Kremer, 2006); esto, acompañado de que los ensayos serán realizados en laboratorio, con condiciones controladas, sirve como base para establecer una cantidad de 9 ensayos, para cada cono, como adecuada.

Por otro lado, la estricta aplicación de la normativa para el ensayo CBR, permite establecer como suficiente el número de 18 muestras. Esto debido a que el número permite realizar un promedio entre los resultados similares, a la vez de poder desechar los que se presenten alejados de la realidad, principalmente por errores humanos durante el ensayo.

A partir de esto, los resultados que se evaluarán en la correlación buscada tienen un sustento teórico para poder validar su expresión.

3.5 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES CBR Y DCP

- A partir de la realización del ensayo de compactación se determina el contenido de humedad óptima, que será el parámetro de control que cumplan las muestras previo la realización de los ensayos de CBR y DCP.
- Se ensaya el CBR, en condiciones de sumersión, conforme a la normativa explicada en 3.3.6. Por otro lado, se determina la densidad seca correspondiente a cada molde de material ensayado en el CBR, mediante la ecuación:

$$\rho_d = \frac{\text{densidad}_{\text{húmeda}}}{1 + w_{\text{ópt}}}$$

- Con los datos obtenidos de CBR y la respectiva densidad seca, se construye una gráfica con el mejor coeficiente de ajuste disponible y se obtiene una ecuación característica para el tipo de material ensayado.



- d. Luego de obtener la ecuación característica; se procede a preparar las muestras, según lo especificado en 3.3.7., para ejecutar el ensayo de DCP. Es indispensable registrar los valores de humedad y densidad seca luego de la compactación en cada molde.
- e. La densidad seca obtenida en cada molde del ensayo DCP, se introduce en la ecuación característica para obtener de ella un índice CBR, que corresponde a cada molde ensayado con DCP.
- f. Se realiza una tabla donde conste: número de molde, humedad, densidad seca, DCP y CBR, de cada una de las muestras.
- g. Los índices DCP y CBR de la última tabla son llevados a una correlación, con el mejor ajuste disponible.
- h. Se presenta finalmente la correlación buscada entre los índices CBR y DCP.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En esta sección son analizados los resultados de las pruebas y las correlaciones que se plantearon como objetivos. A partir del procesamiento de datos de cada uno de los ensayos realizados se presenta la información tabulada y los comentarios que merecen.

En cada una de las tres muestras obtenidas, se han realizado tres ensayos, por tanto, la nomenclatura usada en las tablas deberá ser dirigida a una interpretación adecuada.

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

4.1.1 GRANULOMETRÍA

Mediante la prueba de mallas se determina la distribución de los tamaños de grano presentes en las muestras; la totalidad de los resultados se pueden apreciar en el Anexo 1.

Se ha construido la Tabla 4 para presentar la información de los 9 ensayos realizados para las 3 muestras analizadas.

Tabla 4. Resultado de los 9 ensayos de las 3 muestras

Fuente: Los Autores

Muestra #		1			2			3		
No. Tamiz	Diámetro (mm)	% pasa E1	% pasa E2	% pasa E3	% pasa E1	% pasa E2	% pasa E3	% pasa E1	% pasa E2	% pasa E3
1/2"	12.500	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.500	91.01	97.56	90.27	93.16	90.15	92.01	99.44	100.00	99.89
#4	4.750	82.93	89.52	79.65	84.51	81.81	79.54	92.14	91.37	90.55
#10	2.000	72.98	78.72	67.35	74.01	71.90	66.49	82.10	79.85	76.80
#20	0.850	54.82	60.04	49.22	52.90	51.08	45.48	58.63	55.51	51.74
#40	0.425	27.09	31.50	24.40	28.20	25.86	23.13	30.28	27.46	24.55
#50	0.297	17.12	18.68	14.18	18.87	16.55	15.27	19.73	17.54	15.49
#100	0.150	5.03	5.74	4.41	7.78	6.35	6.36	7.17	6.44	5.73
#200	0.075	1.64	2.06	1.67	2.82	2.34	2.47	2.21	2.20	2.06

En la tabla 5, se observa los valores promedios de las 3 muestras.

Tabla 5. Granulometría promedio de las tres muestras

Fuente: Los Autores

Muestra	No. TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	1	2	3
			PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
	1/2"	12.500	100.00	100.00	100.00
	3/8"	9.500	94.28	91.66	99.78
	#4	4.750	86.22	83.16	91.35
	#10	2.000	75.85	72.96	79.58
	#20	0.850	57.43	51.99	55.29
	#40	0.425	29.29	27.03	27.43
	#50	0.297	17.90	17.71	17.59
	#100	0.150	5.39	7.07	6.45
	#200	0.075	1.85	2.58	2.15

Se observa que el material que pasa el tamiz No. 200 es menor al 5% lo que hace presumir que el suelo está dentro del grupo de suelos gruesos, pudiendo resultar en gravas o arenas. A partir de la información consultada de estudios previos, se concluye que el material presenta características geológicas acordes a un suelo perteneciente a la Formación Azogues.

En la Figura 13 se puede observar la información procesada. Se sugiere la heterogeneidad del material que previamente se había valorado como favorable.

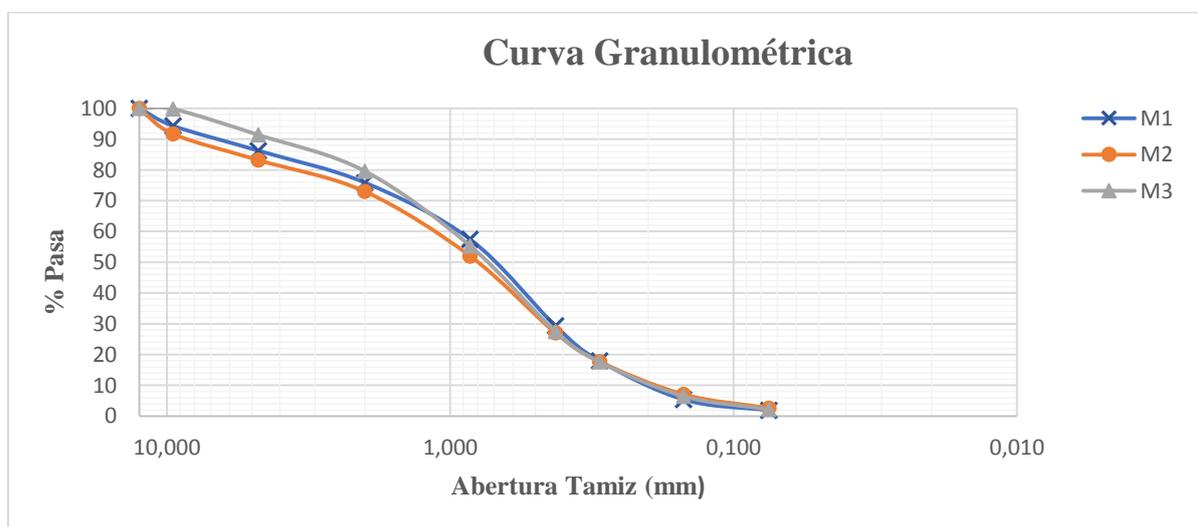


Figura 13. Curva granulométrica promedio de las tres muestras

Fuente: Los Autores

De la curva granulométrica presentada, se obtiene el coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_c), que son parámetros indispensables para la clasificación del suelo de las tres diferentes muestras, la Tabla 6 presenta un resumen de dichos coeficientes:

Tabla 6. C_u y C_c promedio de las tres muestras

Fuente: Los Autores

Muestra	C_u	C_c
1	4.52	1.00
2	6.32	1.01
3	5.00	1.10

4.1.2 LÍMITES DE ATTERBERG

La Tabla 7 presenta los parámetros que sirven como base para determinar la plasticidad de las muestras de suelo ensayadas. Toda la información relacionada a los ensayos realizados para esta sección se puede observar en el Anexo 2.

Tabla 7. Límites de Atterberg de las muestras

Fuente: Los Autores

Muestra	1		2		3	
	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)
1	35.20	21.87	35.09	22.72	34.96	21.07
2	34.24	21.55	34.64	22.27	35.50	21.92
3	34.69	22.20	34.44	22.00	34.20	21.04
Promedio	34.71	21.87	34.72	22.33	34.89	21.34

El promedio ha sido realizado con base en que los valores obtenidos presentan una dispersión de alrededor de 1.5%, lo que muestra la validez del proceso. La Tabla 8 se presenta como el resumen de lo referido:

Tabla 8. Valor promedio de los Límites de Atterberg de las tres muestras

Fuente: Los Autores

Muestra	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad (%)
1	34.71	21.87	12.84
2	34.72	22.33	12.39
3	34.89	21.34	13.54

Los resultados obtenidos han sido comparados con los que se presentan en los estudios para la Planta de Tratamiento de Guangarcucho (ETAPA - EP, 2017):

ETAPA – EP presenta un informe donde el límite líquido está en el orden de 34 y el límite plástico en 20, mientras los valores promedio obtenidos en este trabajo son de 34.8 para el límite líquido y 21,9 para el límite plástico. Esto representa que los procedimientos han sido correctamente ejecutados, y los valores son confiables.

4.1.3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

En la Tabla 9 se presenta la Clasificación del suelo a partir de los dos métodos previamente seleccionados: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el Método desarrollado por la “American Association of State Highways and Transportation Officials” (AASHTO).

Tabla 9. Clasificación SUCS y AASHTO de las muestras

Fuente: Los Autores

Sistema	Muestra		
	1	2	3
SUCS	SW	SW	SW
AASHTO	A-2-6 (0)	A-2-6 (0)	A-2-6 (0)

Según el SUCS, todas las muestras se catalogan como “arena bien graduada con grava”; mediante inspección visual se determina además que se trata de una arena color café claro.

El método de la AASHTO determina una clasificación A-2-6 (0) donde el tipo de material que compone significativamente el suelo es grava y arena limosa o arcillosa (Das, Braja M, 2001)

La clasificación de todas las muestras está disponible en el Anexo 3.

4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

4.2.1 ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Los parámetros obtenidos, de humedad óptima y densidad seca máxima, se presentan a modo de resumen en la Tabla 10; el Anexo 4 presenta la totalidad de ensayos realizados.

Tabla 10. Resultado de los ensayos de Proctor Modificado

Fuente: Los Autores

Muestra	1		2		3	
	ω ópt. (%)	Dens. Seca máx. (kg/m ³)	ω ópt. (%)	Dens. Seca máx. (kg/m ³)	ω ópt. (%)	Dens. Seca máx. (kg/m ³)
1	14.00	1887	14.24	1888	14.93	1895
2	14.32	1876	14.48	1893	14.74	1895
3	14.49	1894	14.44	1878	14.31	1873
Promedio	14.27	1886	14.39	1886	14.66	1888

Con el mismo criterio planteado en los resultados de los límites de Atterberg, se ha procedido a realizar un promedio de los parámetros obtenidos. La Tabla 11 presenta dichos valores:

Tabla 11. Humedad óptima y densidad seca promedio de las muestras

Fuente: Los Autores

Muestra	ω ópt. (%)	Dens. Seca máx. (kg/m ³)
1	14.27	1886
2	14.39	1886
3	14.66	1888

El valor de la humedad óptima obtenido en cada una de las muestras será la condición controlada previo la realización de los ensayos de CBR y DCP. Es decir, la humedad natural que presente cada muestra será llevada hasta la humedad óptima correspondiente.

La densidad seca máxima que se ha obtenido sirve como una referencia para los valores que se obtengan luego de cada ensayo de compactación, necesarios para ensayar el CBR y el DCP.

4.2.2 ENSAYO CBR

Se ha realizado dos ensayos CBR en las muestras, con 10, 25 y 56 golpes por capa, en cada una de las 5 capas.

Luego de la toma de datos, su procesamiento y la posterior corrección de los valores que lo ameriten, se ha obtenido el índice CBR para las penetraciones establecidas en la normativa, como se muestra en la Tabla 12, la información completa de los ensayos, incluido la expansión del material, se puede observar en el Anexo 5.

Tabla 12. Resultados ensayo CBR

Fuente: Los Autores

Resultados CBR de Laboratorio												
Ensayo #1												
Muestra	golp/cap	Densidad (Kg/m ³)	Penetrac. (pulg)	CBR (%)	golp/cap	Densidad (Kg/m ³)	Penetrac. (pulg)	CBR (%)	golp/cap	Densidad (Kg/m ³)	Penetrac. (pulg)	CBR (%)
M1	10	1680.92	0.1"	19.50	25	1827.55	0.1"	32.49	56	1895.44	0.1"	33.43
M1			0.2"	19.00			0.2"	29.94			0.2"	38.24
M2	10	1704.64	0.1"	23.06	25	1828.08	0.1"	37.17	56	1936.69	0.1"	75.86
M2			0.2"	20.11			0.2"	37.82			0.2"	75.42
M3	10	1695.39	0.1"	24.00	25	1843.12	0.1"	38.94	56	1893.71	0.1"	68.17
M3			0.2"	24.66			0.2"	34.04			0.2"	61.45
Ensayo #2												
M1	10	1681.61	0.1"	24.66	25	1846.33	0.1"	35.53	56	1869.91	0.1"	40.83
M1			0.2"	20.74			0.2"	31.09			0.2"	40.42
M2	10	1697.56	0.1"	22.70	25	1823.84	0.1"	36.38	56	1924.47	0.1"	63.45
M2			0.2"	19.92			0.2"	38.78			0.2"	68.85
M3	10	1681.51	0.1"	23.28	25	1852.42	0.1"	36.58	56	1904.26	0.1"	73.10
M3			0.2"	17.65			0.2"	34.26			0.2"	61.93

La normativa exige que se tomen los menores valores de índice CBR entre las penetraciones de 0.1 y 0.2 pulgadas. A partir de esto, se elabora la Tabla 13 con los valores considerados finalmente:

Tabla 13. Valores asumidos del ensayo CBR

Fuente: Los Autores

Valores considerados CBR de Laboratorio									
Ensayo #1									
Muestra	golp/cap	Densidad (Kg/m ³)	CBR (%)	golp/cap	Densidad (Kg/m ³)	CBR (%)	golp/cap	Densidad (Kg/m ³)	CBR (%)
M1	10	1680.92	19.00	25	1827.55	32.49	56	1895.44	33.43
M2	10	1704.64	20.11	25	1828.08	37.17	56	1936.69	75.42
M3	10	1695.39	24.00	25	1843.12	34.04	56	1893.71	61.45
Ensayo #2									
Muestra	golp/cap	Densidad (Kg/m ³)	CBR (%)	golp/cap	Densidad (Kg/m ³)	CBR (%)	golp/cap	Densidad (Kg/m ³)	CBR (%)
M1	10	1681.61	20.74	25	1846.33	31.09	56	1869.91	40.42
M2	10	1697.56	19.92	25	1823.84	36.38	56	1924.47	63.45
M3	10	1681.51	17.65	25	1852.42	34.26	56	1904.26	61.93

El hecho de que los valores de CBR mencionados resulten en las muestras tomadas a la profundidad de 0.50 m, ha hecho pensar en la posible alteración de la arenisca de Azogues, por acción del interperismo. Por esto, los valores del índice CBR sombreados en la Tabla 12 no serán utilizados en la correlación buscada.

4.2.3 ENSAYO DCP

Las condiciones para la realización de los ensayos DCP en laboratorio, con los dos conos estudiados, han sido discutidas en la sección 3.3.7. Los índices obtenidos de cada uno de los conos, son el resultado buscado para la posterior correlación con el CBR.

Cono de Sowers

Debido a que el cono debe incrustarse 138 mm en la muestra (50 mm de punta y dos marcas de 44 mm) y el molde tiene 178 mm de altura, sólo se ha tomado dos lecturas y se ha procedido a realizar el promedio como se presenta en la recomendación seguida. La información de cada uno de los ensayos se puede observar en el Anexo 7.

La Tabla 14 presenta la información de densidad seca e índice DCP Sowers resultantes del ensayo.

Tabla 14. Densidad seca y DCP Sowers de las muestras

Fuente: Los Autores

Muestra	Molde	% Humedad	Densidad Seca (kg/m ³)	DCP Sowers
M1	A	14.08	1705.46	42
	B	14.08	1855.77	75
	C	14.93	1890.57	94
M2	D	13.61	1670.99	37
	E	13.47	1753.87	79
	F	13.77	1904.56	110
M3	G	13.68	1617.88	37
	H	13.48	1800.03	68
	I	13.35	1869.28	---

Como era de esperarse, los moldes A, D y G que han sido compactados con 10 golpes por capa, a la vez de presentar valores similares, son los menores de todos los ensayos. En los moldes B, E y H, sometidos a 25 golpes por capa, el valor aumenta respecto a los moldes anteriores y también se mantiene relativamente similar. Mientras que los moldes restantes, de 56 golpes, presentan los mayores valores del ensayo.

Es necesario mencionar que el molde I no pudo llegar al final del ensayo pues mientras se encontraba en la mitad de la penetración, el número de golpes aumentó exageradamente, dándose por finalizado el procedimiento.

Cono de Scala

Debido a la sensibilidad del equipo en instantes de la penetración, se ha optado por no realizar un promedio de los datos obtenidos (mm/golpe) sino tomar una moda estadística de los mismos. La totalidad de los ensayos realizados se pueden consultar en el Anexo 8.

La Tabla 15 muestra los valores de densidad seca e índice DCP para cada uno de los moldes utilizados en los ensayos:

Tabla 15. Densidad seca e Índice DCP de las muestras

Fuente: Los Autores

Muestra	Molde	% Humedad	Densidad Seca (kg/m³)	Índice DCP
M1	1	12.61	1617.26	9.09
	2	13.96	1849.41	5.63
	3	13.98	1938.36	3.80
M2	4	13.50	1668.36	7.87
	5	15.11	1769.41	6.05
	6	13.80	1915.35	4.00
M3	7	11.70	1690.61	6.22
	8	11.79	1823.77	3.86
	9	11.96	1937.37	2.37

Como se observa en la tabla, la energía de compactación es inversamente proporcional al índice DCP, aspecto lógico previo la realización de los ensayos.

4.3 CONSTRUCCIÓN DE LA CORRELACIÓN

4.3.1 ECUACIÓN DENSIDAD SECA VS CBR

En un primer instante, se ha construido una gráfica entre los valores de densidad seca y su correspondiente CBR, con los datos de la Tabla 13, donde se han desechado los datos sombreados con rosa por aspectos estadísticos. Esta gráfica se puede observar en la Figura 14:

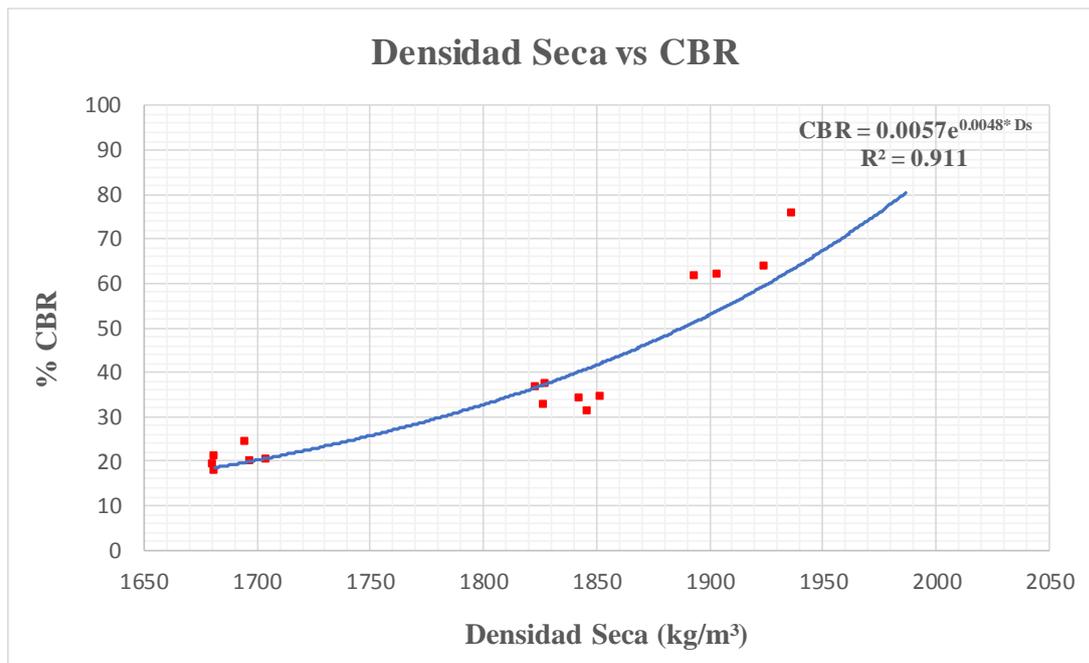


Figura 14. Densidad seca vs CBR

Fuente: Los Autores

La ecuación que mejor se ha ajustado es de tipo exponencial:

$$CBR = 0.0057 * e^{0.0048 * Ds} \quad \text{Ecuación 3}$$

Presenta un coeficiente de determinación, R cuadrado, de 0.911 que al ser mayor a 0.9 se toma como adecuado.

4.3.2 CORRELACIÓN DCP SOWERS VS CBR

Los resultados obtenidos del índice DCP Sowers (Tabla 16) presentan una densidad calculada en el material de cada molde, que son introducidos en la Ecuación 4, para obtener un nuevo índice CBR.

Se presenta la Tabla 16 con los datos de densidad seca, nuevo índice CBR e índice DCP Sowers para 8 de los 9 moldes ensayados. El inconveniente con el molde I se discutió en 4.2.3.

Tabla 16. Resultado ensayo DCP Sowers

Fuente: Los Autores

Muestra	Molde	% Humedad	Densidad Seca (kg/m³)	CBR (%)	DCP Sowers
M1	A	14.08	1705.46	20.47	42
	B	14.08	1855.77	42.12	75
	C	14.93	1890.57	49.75	94
M2	D	13.61	1670.99	17.35	37
	E	13.47	1753.87	28.82	79
	F	13.77	1904.56	53.24	110
M3	G	13.68	1617.88	13.44	37
	H	13.48	1800.03	32.23	68

Los ocho datos obtenidos, de los índices en discusión, en la Tabla 15, son sometidos a una serie métodos estadísticos para determinar la ecuación que se ajuste de la manera más adecuada.

En la figura 15 se observa el gráfico que se presentar como el más adecuado:

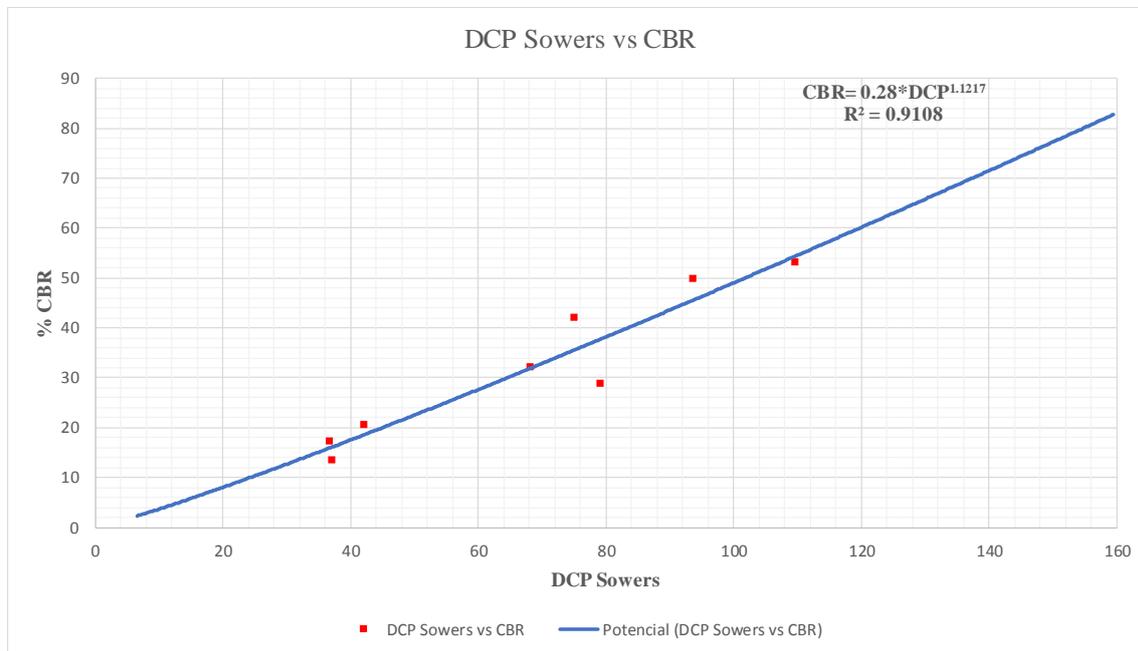


Figura 15. Correlación DCP Sower y CBR

Fuente: Los Autores

La primera correlación, objetivo de este trabajo, es la ecuación 10:

$$CBR = 0.28 * DCP_{Sowers}^{1.1217} \quad \text{Ecuación 4}$$

Presenta un coeficiente de determinación R cuadrado de 0.9108.

Al no disponer de datos para la comparación, y en vista que los ensayos de laboratorio no han presentado alteraciones considerables, se ofrece al lector esta correlación como válida.

4.3.3 CORRELACIÓN DCP SCALA VS CBR

Al seguir la misma metodología usada para la correlación con el Cono Sowers, es decir, calculando la densidad de las muestras en los moldes del 1 al 9, y luego introduciendo este valor en la ecuación 4; se ha obtenido la Tabla 17 que presenta los datos de densidad seca, índice CBR e índice DCP.

Tabla 17. Resultado Ensayo DCP Scala

Fuente: Los Autores

Muestra	Molde	% Humedad	Densidad Seca (kg/m ³)	CBR (%)	Índice DCP
M1	1	12.61	1617.26	13.40	9.09
	2	13.96	1849.41	40.85	5.63
	3	13.98	1938.36	62.60	3.80
M2	4	13.50	1668.36	17.13	7.87
	5	15.11	1769.41	27.82	6.05
	6	13.80	1915.35	56.06	4.00
M3	7	11.70	1690.61	19.06	6.22
	8	11.79	1823.77	36.12	3.86
	9	11.96	1937.37	62.31	2.37

La figura 16 presenta una ecuación potencial que relaciona los índices CBR y DCP:

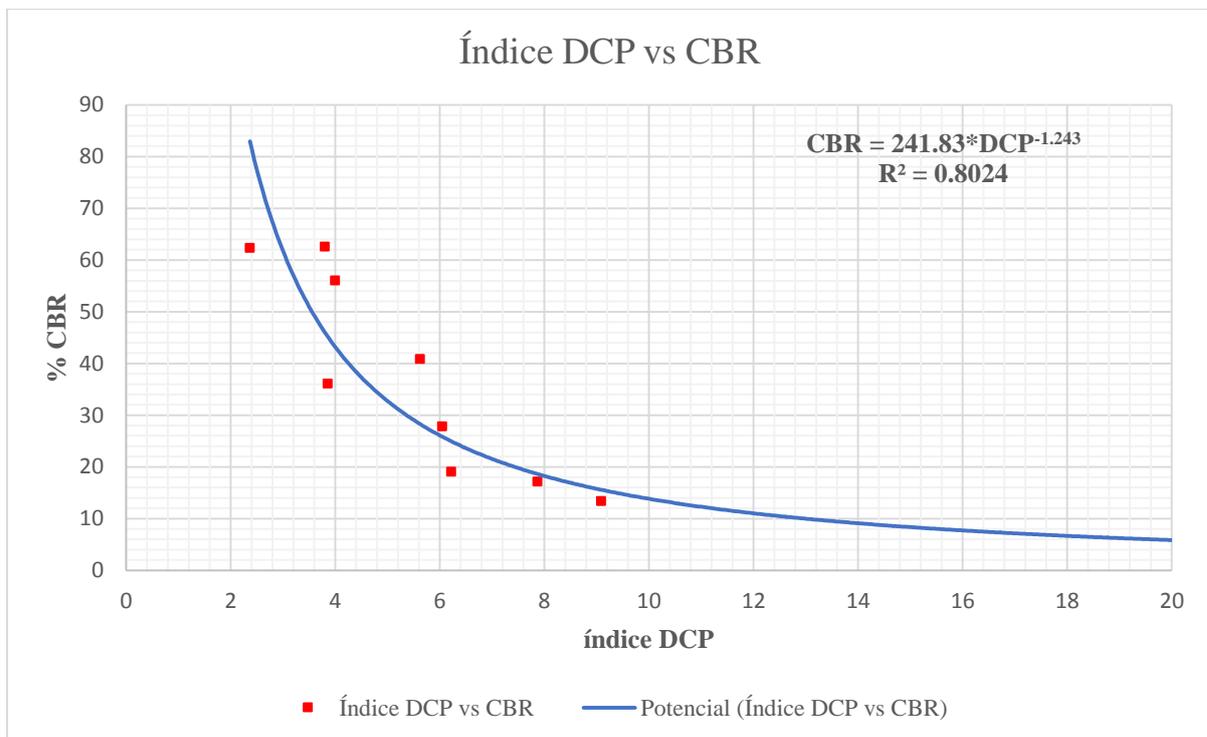


Figura 16. Correlación DCP escala y CBR

Fuente: Los Autores

La selección de la ecuación, a la par de tener presente el coeficiente de determinación, ha sido condicionada por la existencia de ecuaciones ya desarrolladas (sección 2.6), para su comparación. De este modo la ecuación 6 que se presenta al lector es:

$$CBR = 241.83 * DCP^{-1.243} \quad \text{Ecuación 5}$$

El coeficiente de determinación es 0.8024, aspecto que se ha atribuido a la sensibilidad del equipo en los ensayos de laboratorio y su consecuente limitación para la selección del índice DCP como se explicó en 4.2.3.

Como se había sugerido en el planteamiento del problema, la ecuación buscada podría presentar la forma $CBR=K*DCP^n$. Sin embargo, los aspectos discutidos en 2.4 sugieren tener cuidado en la utilización de la correlación, debido a que las condiciones del suelo sobre el que se ha desarrollado este procedimiento varían con respecto a material de otras formaciones geológicas.

En la figura 17 se puede observar la correlación obtenida y las existentes de Van Vuuren y el TRRL.

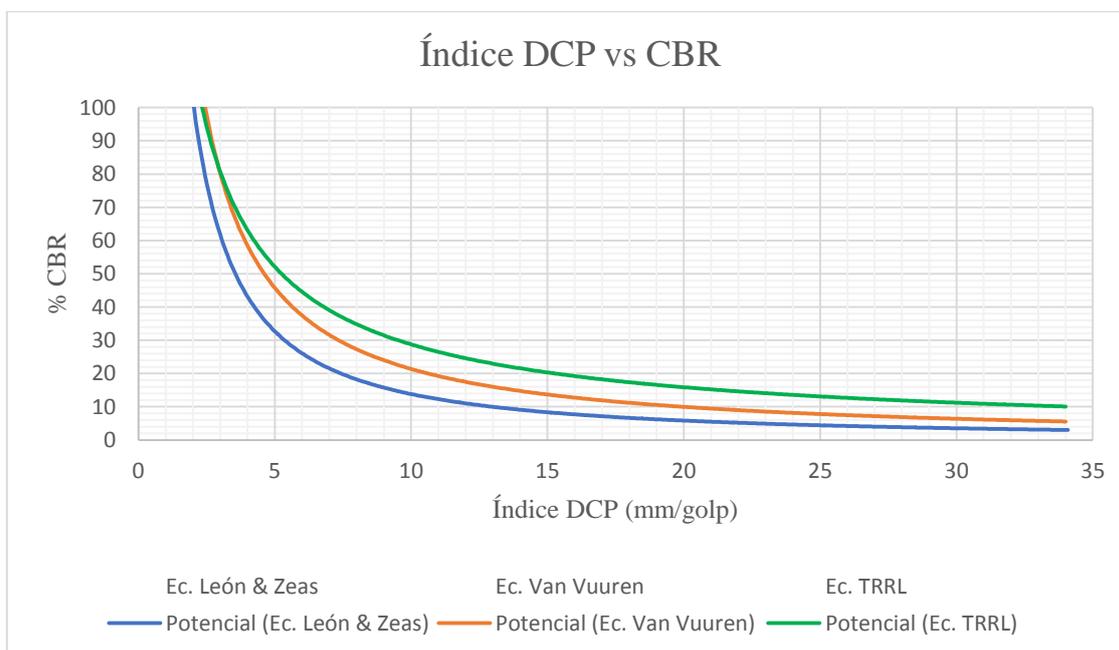


Figura 17. Análisis de correlaciones DCP Scala

Fuente: Los Autores

Las tres correlaciones son de la forma potencial $CBR=K*DCP^n$, lo que, teniendo en cuenta las observaciones de la Tabla 3, permite validar la correlación obtenida en este trabajo. La comparación de los parámetros K y n se pueden observar en la Tabla 18.

Tabla 18. Factores K y n de las correlaciones DCP Scala

Fuente: Los Autores

Autor (es)	K	n
León & Zeas (2017)	242	-1.24
Van Vuuren (1969)	292	-1.12
TRRL (1986)	208	-0.86

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El suelo utilizado en este trabajo experimental, perteneciente a la Formación Azogues, sector Guangarcucho, ha sido clasificado como arena bien graduada, SW, según el SUCS y A-2-6 (0), por el AASHTO; su humedad óptima está en el orden del 14,5% y su peso específico seco máximo es 1890 kg/m³, propiedades que determinan buenas condiciones de compactación. Presenta un CBR, en condiciones de sumersión, de 56% y los índices de penetración dinámica son: 104 golpes por cada penetración de 44 mm para el Cono de Sowers, y 3 mm por golpe para el Cono de Scala.

A partir de los objetivos planteados, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. La metodología desarrollada para la obtención de la correlación entre los índices DCP y CBR en laboratorio, es:
 - a. *A partir de la realización del ensayo de compactación se determina el contenido de humedad óptima, que será el parámetro de control que cumplan las muestras previo la realización de los ensayos de CBR y DCP.*
 - b. *Se ensaya el CBR, en condiciones de sumersión, conforme a la normativa explicada en 3.3.6. Por otro lado, se determina la densidad seca correspondiente a cada molde de material ensayado en el CBR, mediante la ecuación:*

$$\rho_d = \frac{\text{densidad}_{\text{húmeda}}}{1 + w_{\text{ópt}}}$$

- c. *Con los datos obtenidos de CBR y la respectiva densidad seca, se construye una gráfica con el mejor coeficiente de ajuste disponible y se obtiene una ecuación característica para el tipo de material ensayado.*
- d. *Luego de obtener la ecuación característica; se procede a preparar las muestras, según lo especificado en 3.3.7., para ejecutar el ensayo de DCP. Es indispensable registrar los valores de humedad y densidad seca luego de la compactación en cada molde.*
- e. *La densidad seca obtenida en cada molde del ensayo DCP, se introduce en la ecuación característica para obtener de ella un índice CBR, que corresponde a cada molde ensayado con DCP.*
- f. *Se realiza una tabla donde conste: número de molde, humedad, densidad seca, DCP y CBR, de cada una de las muestras.*
- g. *Los índices DCP y CBR de la última tabla son llevados a una correlación, con el mejor ajuste disponible.*
- h. *Se presenta finalmente la correlación buscada entre los índices CBR y DCP.*



2. Las correlaciones obtenidas con la metodología presentada, para el tipo de suelo ensayado, son:

- Índice DCP Sowers vs CBR:

$$CBR = 0.28 * DCP_{Sowers}^{1.1217}$$

presenta un coeficiente R cuadrado de 0.91

- Índice DCP vs CBR:

$$CBR = 242 * DCP^{-1.24}$$

presenta un coeficiente R cuadrado de 0.80.

La comparación de esta correlación con las desarrolladas por *van Vuuren* y el *TRRL* ha sido discutida en 4.3.3; la variación existente entre los coeficientes K y n, para las diferentes correlaciones, se atribuye a que para la determinación de cada correlación se ha utilizado un tipo de suelo existente en la zona donde se desarrollaron las investigaciones. Es decir, se sugiere tener cuidado en la utilización de la correlación, debido a que las condiciones del suelo sobre el que se ha desarrollado este procedimiento varían con respecto a las condiciones que presente un material de otras formaciones geológicas.

5.2 RECOMENDACIONES

Con base en el desarrollo de este trabajo experimental, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Como una primera aplicación de la correlación obtenida entre el índice DCP Sowers y el CBR, se puede comparar los datos obtenidos en la ecuación, con la tabla de clasificación de materiales del Instituto del Asfalto, sección 2.3.2, presentando la siguiente información:
 - para menos de 20 golpes, el material puede usarse como subrasante.
 - para un número de golpes entre 20 y 45, el material se puede usar para sub-base;
 - para un número de golpes entre 45 y 80, el material puede usarse para sub-base o base; y
 - para más de 80 golpes, el material se puede usar como base.

DCP Sowers golp/44mm	CBR %	Clasificación general	USOS	SUCS	AASTHO
<20	<7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CM, MH, OL	A4, A5, A6, A7
20 - 45	7 - 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
45 - 80	20 - 50	Buena	Base, Sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>80	>50	Muy buena	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Nota 3: El operador debe tener en cuenta el tipo de material sobre el cual se realiza el ensayo; no es recomendable utilizar el cono en estructuras de pavimento confirmadas por materiales pétreos, pues pueden dañar la punta del cono y ofrecer resultados alejados de la realidad por efectos del rebote del equipo.

2. Para futuras investigaciones en ensayos de Penetración Dinámica de Cono en laboratorio, se recomienda tomar en cuenta la observación acerca de la forma que debe tener el molde para eliminar totalmente los efectos del borde, aspecto discutido en la sección 3.3.7.
3. Este informe constituye una primera investigación respecto al Penetrómetro Dinámico de Cono S-200 en laboratorio. Se sugiere ampliar la investigación, utilizando la metodología desarrollada en este trabajo sobre suelos de otras formaciones geológicas.



BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Farsakh, M. Y., & Titi, H. H. (2004). Assessment of Direct Cone Penetration Test Methods for Predicting the Ultimate Capacity of Friction Driven Piles. (A. S. Engineers, Ed.) *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
- Armas Novoa, R. (1987). *Presas de Tierra*. La Habana, Cuba: IPSJAE.
- Armas Novoa, R. (2002). *Compactación de Suelos*. La Habana, Cuba.
- ASTM D 1557. (2012). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 1883. (2016). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 2487. (2011). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soils Classification System)*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 3282. (2015). *Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 6951. (2003). *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 698. (2012). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³(600 kN-m/m³))*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E 11. (2017). *Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Atterberg, A. (1914). Die Eigenschaften der Bodenkörner und die Plastizität der Böden. *International Society of Soil Science*. Berlin, Alemania.
- Bowles, J. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. México: McGRAW-HILL.
- Burbano O., N., Becerra P., S., & Pasquel S., E. (2014). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Grupo de Aguas Subterráneas de la Unidad de Estudios e Investigaciones Hidrológicas, Quito, Ecuador.
- Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg limits of soils. *Public Roads, Vol. 8*, 121-136.
- Dai, S., & Kremer, C. (2006). *Improvement and Validation of Mn/DOT DCP Specifications for Aggregate Base Materials and Select Granular*. Estados Unidos: Minnesota Department of Transportation.



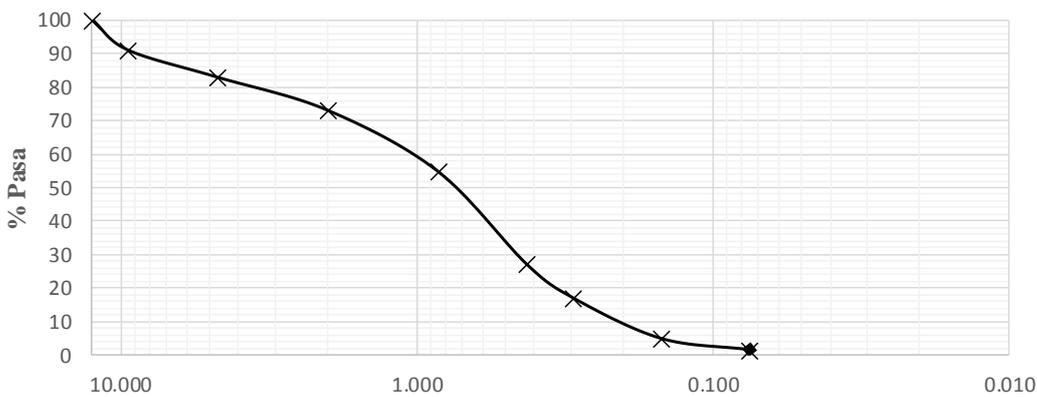
- Das, Braja M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. International Thomson Editores, S.A. de C.V.
- Davich, P., Camargo, F., Larsen, B., Roberson, R., & Siekmeier, J. (2006). *Validation of DCP and LWD Moisture Specifications for Granular Materials*. Estados Unidos: Minnesota Department of Transportation.
- ETAPA - EP. (2017). *Informe geológico - geotécnico. Diseños definitivos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guanguarucucho, cantón Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador*. Cuenca, Ecuador.
- Ganju, E., Kim, H., Prezzi, M., Salgado, R., & Siddiki, N. Z. (2016). Quality assurance and quality control of subgrade compaction using the dynamic cone penetrometer. *International Journal of Pavement Engineering*.
- GeoDurham. (1966). *S-200 & S-205 Dynamic Cone Penetrometer, (S-20004) Use and Operating Guidelines*. Georgia, Estados Unidos.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson, Petience Hall.
- INEN. (1982). *Mecánica de Suelos, Determinación del contenido de humedad, Método de secado al horno*. Norma Técnica Ecuatoriana, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador.
- INEN. (1982). *Mecánica de Suelos, Determinación del límite líquido, Método de Casagrande*. Norma Técnica Ecuatoriana, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador.
- INEN. (1982). *Mecánica de Suelos, Determinación del límite plástico*. Norma Técnica Ecuatoriana, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador.
- INEN. (2011). *Áridos, Análisis Granulométrico en los áridos fino y grueso*. Norma Técnica Ecuatoriana, Instituto Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador.
- Jahren, C. T., Ellsworth, B. J., & Bergeson, K. (1999). Constructability Test for Cold In-Place Asphalt Recycling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 325-329.
- Kleyn, E. G. (1975). *The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*. Transvaal Provincial Administration, Sudáfrica.
- Livneh, M., & Ishai, I. (1987). Pavement and Material Evaluation by a Dynamic Cone Penetrometer. *Sixth International Conference, Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, Volume I*, págs. 675-686. Ann Arbor, Michigan.
- M.O.P.U. (1987). *Sistematización de los medios de compactación y su control*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, España.
- Mohammadi, S. D., Nikoudel, M. R., Rahimi, H., & Khamehchiyan, M. (2008). Application of the Dynamic Cone Penetrometer for determination of the engineering parameters of sandy soils. *Engineering Geology*, 195-203.



- Montejo Fonseca, A. (2008). *Ingeniería de Pavimentos* (Tercera Edición ed.). Bogotá D.C, Colombia: Panamericana Formas e Impresos, S.A.
- Proctor, R. R. (1933). Fundamental Principles of Soil Compactation. *Engineering News-Record*, 245-248.
- Scala, A. (1956). Simple methods of flexible pavement design using cone penetrometers. *New Zealand Engineering*, 34-44.
- Sowers, G. B., & Sowers, G. F. (1972). *Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa-Wiley, S.A.
- Sowers, G. F., & Hedges, C. S. (1966). *Dynamic Cone for Shallow In-Situ Penetration Testing, Vane Shear and Cone Penetration Resistance Testing of In-Situ Soils*. American Society of Testing Materials.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mezri, G. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- The Asphalt Institute. (1962). *El Manual del Asfalto*.
- Thrower, E. N., Mortazavi, S., & Dougill, J. W. (1986). *Methods for Predicting Permanent Deformation in Flexible Pavements*. Transport and Road Research Laboratory, Berkshire, England.
- van Vuuren, D. J. (1969). Rapid Determination of CBR with the Portable Dynamic Cone Penetrometer. *The Rhodesian Engineer*, Vol. 7, 852-854.
- Webster, S. L., Grau, R. H., & Williams, T. P. (1992). *Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer*. US Army Corps of Engineers, USAE Waterways Experiment Station, Geotechnical Laboratory, Vicksburg, Mississippi.

ANEXOS

Anexo 1: Análisis Granulométrico

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
Facultad de Ingeniería					
Proyecto:	Determinación de la correlación entre los índices DCP <i>in situ</i> y CBR de laboratorio.				
Ubicación:	Sector Guangarcucho.				
Muestra:	1	Ensayo:	1	Profundidad:	0.50 m
Realizado por:	León Francisco - Zeas Raúl				
Fecha:	6/9/2017				
GRANULOMETRÍA					
No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	89.90	89.90	8.99	91.01
#4	4.750	80.80	170.70	8.08	82.93
#10	2.000	99.40	270.10	9.94	72.98
#20	0.850	181.60	451.70	18.16	54.82
#40	0.425	277.30	729.00	27.74	27.09
#50	0.297	99.60	828.60	9.96	17.12
#100	0.150	120.90	949.50	12.09	5.03
#200	0.075	33.90	983.40	3.39	1.64
FONDO		16.40	999.80	1.64	0.00
MASA TOTAL (gr)		999.80			
<h4>Curva Granulométrica</h4> 					
Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.20	mm	Grava	17.07	%
D30:	0.47	mm	Arena	81.29	%
D60:	1.05	mm	Finos	1.64	%
Cu:	5.25				
Cc:	1.05				



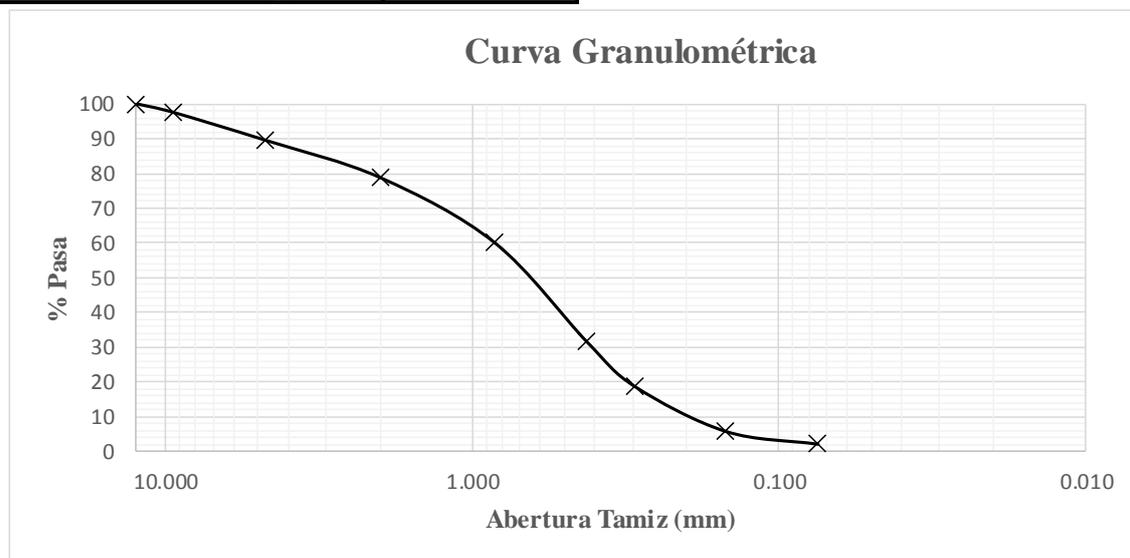
UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 1 **Ensayo:** 2 **Profundidad:** 0.50 m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 6/9/2017

GRANULOMETRÍA

No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	24.40	24.40	2.44	97.56
#4	4.750	80.40	104.80	8.04	89.52
#10	2.000	108.00	212.80	10.80	78.72
#20	0.850	186.70	399.50	18.67	60.04
#40	0.425	285.40	684.90	28.55	31.50
#50	0.297	128.10	813.00	12.81	18.68
#100	0.150	129.40	942.40	12.94	5.74
#200	0.075	36.80	979.20	3.68	2.06
FONDO		20.60	999.80	2.06	0.00
MASA TOTAL (gr)		999.80			

Curva Granulométrica



Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.20	mm	Grava	10.48	%
D30:	0.42	mm	Arena	87.46	%
D60:	0.85	mm	Finos	2.06	%
Cu:	4.25				
Cc:	1.04				

UNIVERSIDAD DE CUENCA

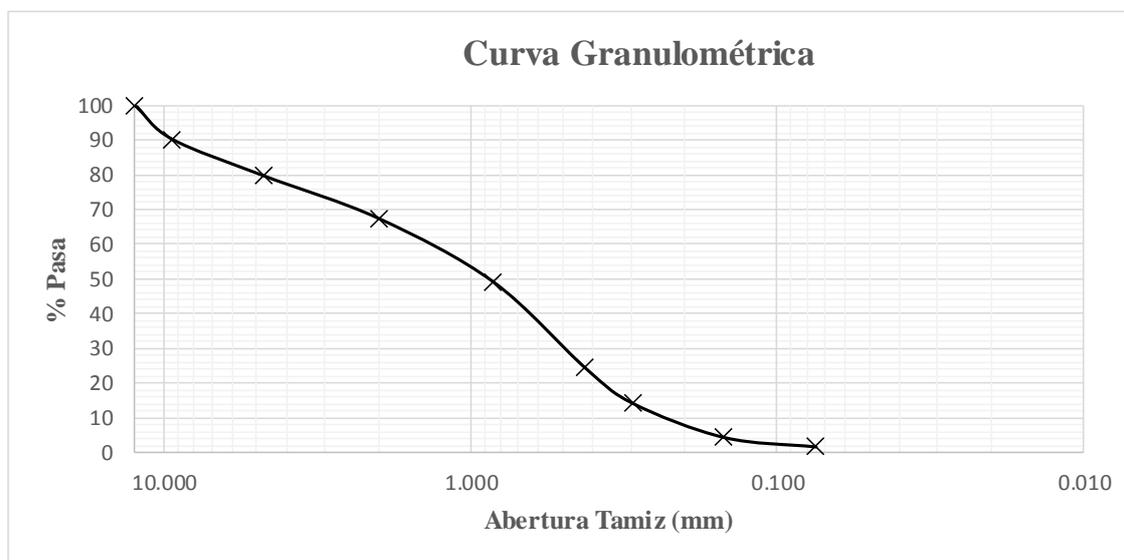
Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 1 **Ensayo:** 3 **Profundidad:** 0.50 m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 6/9/2017

GRANULOMETRÍA

No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	97.30	97.30	9.73	90.27
#4	4.750	106.20	203.50	10.62	79.65
#10	2.000	122.90	326.40	12.29	67.35
#20	0.850	181.30	507.70	18.13	49.22
#40	0.425	248.10	755.80	24.81	24.40
#50	0.297	102.20	858.00	10.22	14.18
#100	0.150	97.70	955.70	9.77	4.41
#200	0.075	27.40	983.10	2.74	1.67
FONDO		16.20	999.30	1.62	0.05
MASA TOTAL (gr)		999.30			

Curva Granulométrica



Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.24	mm	Grava	20.36	%
D30:	0.50	mm	Arena	78.01	%
D60:	1.40	mm	Finos	1.62	%
Cu:	5.83				
Cc:	0.74				



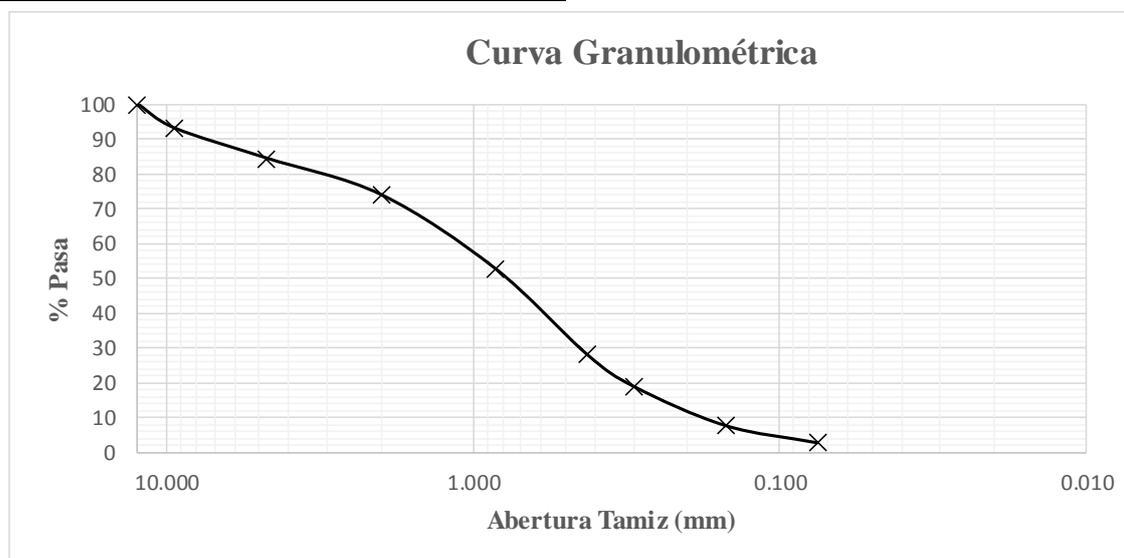
UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 2 **Ensayo:** 1 **Profundidad:** 1.50m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 6/9/2017

GRANULOMETRÍA

No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	68.40	68.40	6.84	93.16
#4	4.750	86.50	154.90	8.65	84.51
#10	2.000	105.00	259.90	10.50	74.01
#20	0.850	211.10	471.00	21.11	52.90
#40	0.425	247.00	718.00	24.70	28.20
#50	0.297	93.30	811.30	9.33	18.87
#100	0.150	110.90	922.20	11.09	7.78
#200	0.075	49.60	971.80	4.96	2.82
FONDO		28.20	1000.00	2.82	0.00
MASA TOTAL (gr)		1000.00			



Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.18	mm	Grava	15.49	%
D30:	0.46	mm	Arena	81.69	%
D60:	1.10	mm	Finos	2.82	%
Cu:	6.11				
Cc:	1.07				

UNIVERSIDAD DE CUENCA

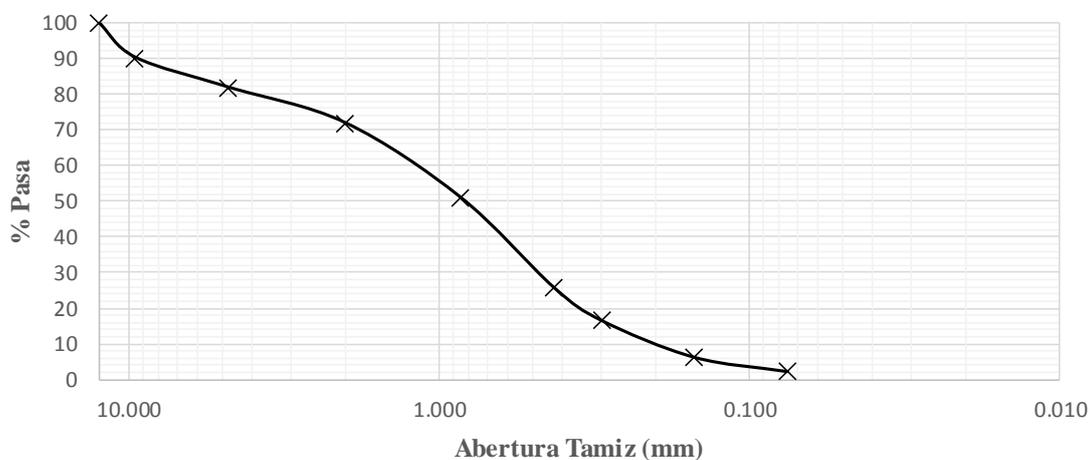
Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 2 **Ensayo:** 2 **Profundidad:** 1.50m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 6/9/2017

GRANULOMETRÍA

No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	98.50	98.50	9.85	90.15
#4	4.750	83.40	181.90	8.34	81.81
#10	2.000	99.10	281.00	9.91	71.90
#20	0.850	208.20	489.20	20.82	51.08
#40	0.425	252.20	741.40	25.22	25.86
#50	0.297	93.10	834.50	9.31	16.55
#100	0.150	102.00	936.50	10.20	6.35
#200	0.075	40.10	976.60	4.01	2.34
FONDO		23.40	1000.00	2.34	0.00
MASA TOTAL (gr)		1000.00			

Curva Granulométrica



Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.20	mm	Grava	18.19	%
D30:	0.49	mm	Arena	79.47	%
D60:	1.20	mm	Finos	2.34	%
Cu:	6.00				
Cc:	1.00				



UNIVERSIDAD DE CUENCA

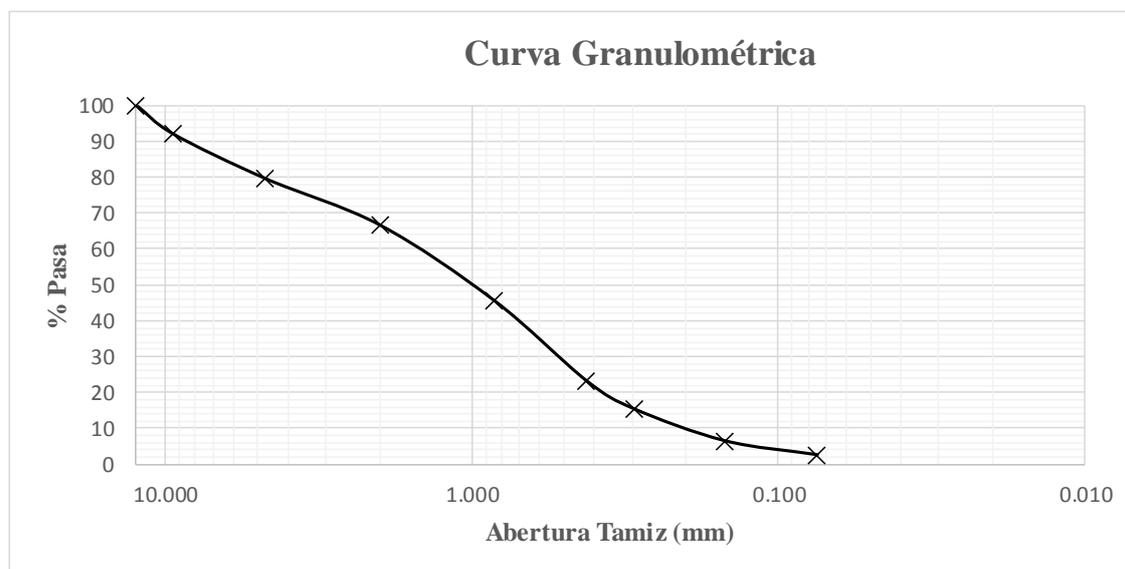
Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 2 **Ensayo:** 3 **Profundidad:** 1.50 m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 6/9/2017

GRANULOMETRÍA

No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	79.90	79.90	7.99	92.01
#4	4.750	124.70	204.60	12.47	79.54
#10	2.000	130.50	335.10	13.05	66.49
#20	0.850	210.10	545.20	21.01	45.48
#40	0.425	223.50	768.70	22.35	23.13
#50	0.297	78.60	847.30	7.86	15.27
#100	0.150	89.10	936.40	8.91	6.36
#200	0.075	38.90	975.30	3.89	2.47
FONDO		24.70	1000.00	2.47	0.00
MASA TOTAL (gr)		1000.00			

Curva Granulométrica



Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.20	mm	Grava	20.46	%
D30:	0.50	mm	Arena	77.07	%
D60:	1.25	mm	Finos	2.47	%
Cu:	6.41				
Cc:	1.03				

UNIVERSIDAD DE CUENCA

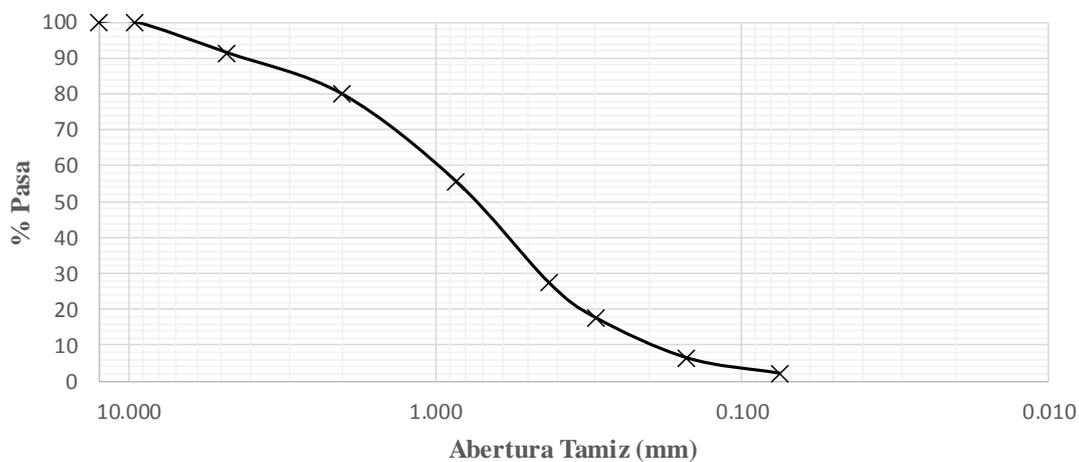
Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 3 **Ensayo:** 2 **Profundidad:** 2.50 m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 6/9/2017

GRANULOMETRÍA

No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.750	86.40	86.40	8.63	91.37
#10	2.000	115.30	201.70	11.52	79.85
#20	0.850	243.70	445.40	24.34	55.51
#40	0.425	280.80	726.20	28.05	27.46
#50	0.297	99.30	825.50	9.92	17.54
#100	0.150	111.10	936.60	11.10	6.44
#200	0.075	42.50	979.10	4.25	2.20
FONDO		21.20	1000.30	2.12	0.08
MASA TOTAL (gr)		1000.30			

Curva Granulométrica



Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.20	mm	Grava	8.64	%
D30:	0.46	mm	Arena	89.24	%
D60:	1.00	mm	Finos	2.12	%
Cu:	5.00				
Cc:	1.06				

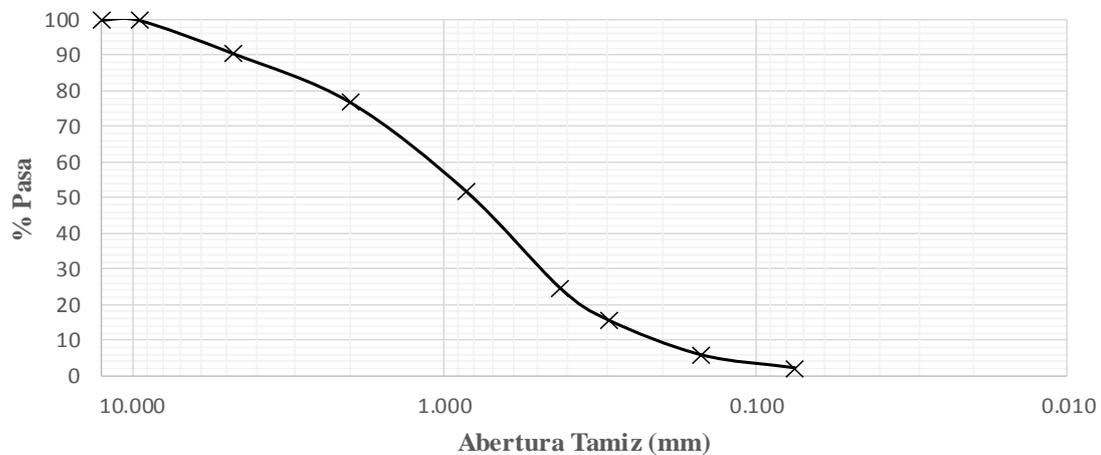
UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 3 **Ensayo:** 3 **Profundidad:** 2.50 m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 6/9/2017

GRANULOMETRÍA

No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	1.10	1.10	0.11	99.89
#4	4.750	93.50	94.60	9.34	90.55
#10	2.000	137.70	232.30	13.75	76.80
#20	0.850	250.80	483.10	25.05	51.74
#40	0.425	272.20	755.30	27.19	24.55
#50	0.297	90.70	846.00	9.06	15.49
#100	0.150	97.70	943.70	9.76	5.73
#200	0.075	36.80	980.50	3.68	2.06
FONDO		20.70	1001.20	2.07	0.00
MASA TOTAL (gr)		1001.20			

Curva Granulométrica



Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.21	mm	Grava	9.45	%
D30:	0.50	mm	Arena	88.48	%
D60:	1.15	mm	Finos	2.07	%
Cu:	5.48				
Cc:	1.04				

Anexo 2: Límites de Atterberg.

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 1 **Ensayo:** 1 **Profundidad:** 0.50 m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 7/9/2017

LÍMITES DE ATTERBERG

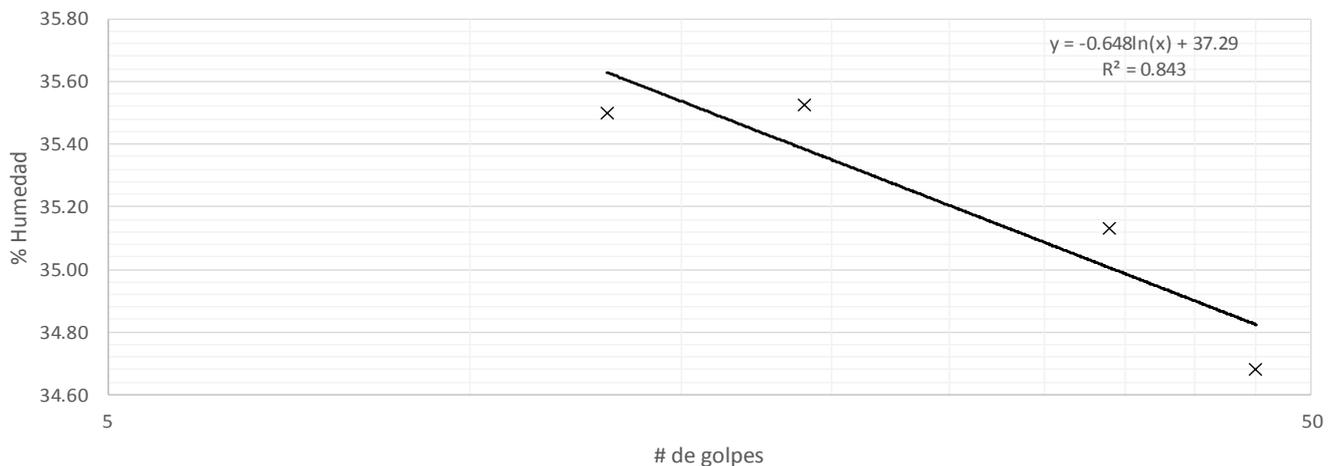
Límite Líquido

Tarro #	# de Golpes	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Peso Tarro (gr)	% Humedad	% Promedio
56B	13	18.60	15.10	5.10	35.00	35.50
25A		19.00	15.40	5.40	36.00	
3	19	26.60	22.30	10.20	35.54	35.53
5		25.10	21.30	10.60	35.51	
3.2	45	22.40	18.40	6.90	34.78	34.68
2.1		22.90	19.20	8.50	34.58	
2	34	26.70	22.30	9.90	35.48	35.13
122		26.80	22.80	11.30	34.78	

Límite Plástico

105		50.00	48.90	43.90	22.00	21.87
42		46.10	44.60	37.70	21.74	
16		45.60	44.40	38.90	21.82	21.55
47		54.00	53.00	48.30	21.28	
41		46.80	45.50	39.50	21.67	22.20
62		49.70	48.70	44.30	22.73	

Límite Líquido



Límites de Atterberg			Clasificación del Suelo	
W	15.43	%	SUCS	SW
LL	35.20	%	ASSHTO	A-2-6 (0)
LP	21.87	%	Descripción:	Arena bien graduada, color café con grava
IP	13.33	%		

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 2 **Ensayo:** 2 **Profundidad:** 1.50m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 8/9/2017

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido

Tarro #	# de Golpes	Peso Húmedo (gr)	Peso Seco (gr)	Peso Tarro (gr)	% Humedad	% Promedio
50	32	58.90	55.00	43.50	33.91	34.07
30		53.70	49.90	38.80	34.23	
14	40	55.20	51.20	39.50	34.19	33.62
16		55.00	51.00	38.90	33.06	
67	19	54.80	51.60	42.60	35.56	34.85
13		60.90	56.70	44.40	34.15	
74	14	59.00	55.50	45.90	36.46	36.36
18		53.10	49.80	40.70	36.26	

Límite Plástico

189		54.40	53.70	50.60	22.58	22.72
31		52.70	51.90	48.40	22.86	
54		49.90	49.20	45.90	21.21	22.27
140		45.20	44.50	41.50	23.33	
9		50.60	49.70	45.50	21.43	22.00
103		48.70	48.00	44.90	22.58	

Límite Líquido

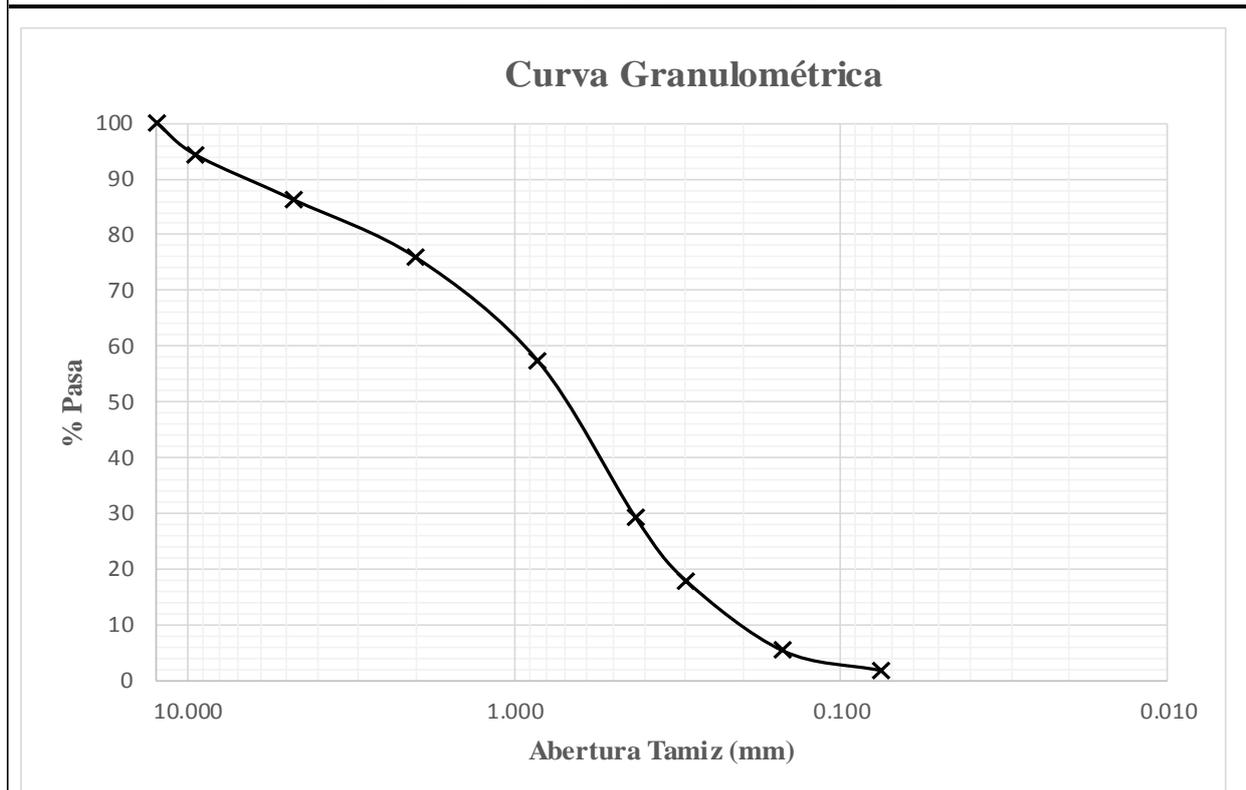


Límites de Atterberg			Clasificación del Suelo	
W	13.38	%	SUCS	SW
LL	34.64	%	ASSHTO	A-2-6 (0)
LP	22.33	%	Descripción:	Arena bien graduada, color café con grava
IP	12.31	%		

Anexo 3: Clasificación del Suelo

UNIVERSIDAD DE CUENCA			
Facultad de Ingeniería			
Proyecto:	Determinación de la correlación entre los índices DCP <i>in situ</i> y CBR de laboratorio.		
Ubicación:	Sector Guangarcucho.		
Muestra:	1	Ensayo:	Profundidad: 0.50 m
Realizado por:	León Francisco - Zeas Raúl		
Fecha:	9/9/2017		

CLASIFICACIÓN DEL SUELO



Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.21	mm	Grava	11.98	%
D30:	0.44	mm	Arena	82.25	%
D60:	0.95	mm	Finos	1.77	%
Cu:	4.52		Clasificación del suelo		
Cc:	0.97				
Límites de Atterberg			SUCS	SW	
Límite Líquido (%)		34.71	ASSHTO	A-2-6 (0)	
Límite Plástico (%)		21.87	Descripción:	Arena bien graduada, color café claro con grava	
Índice de Plasticidad (%)		12.84			

Anexo 4: Ensayo de Compactación.

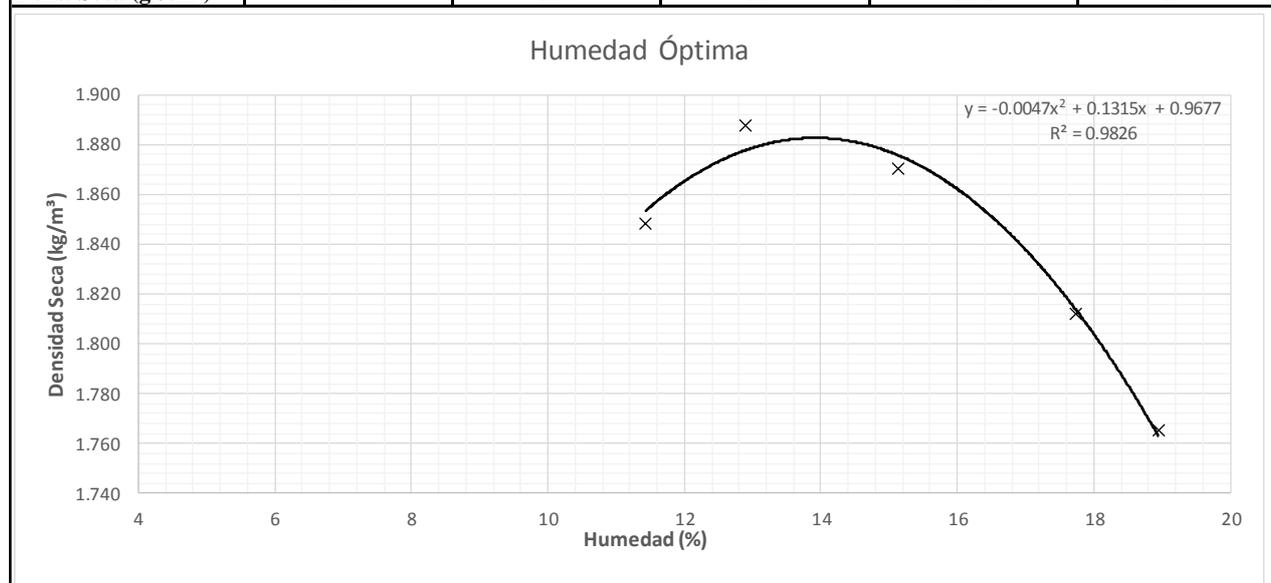
UNIVERSIDAD DE CUENCA					
Facultad de Ingeniería					
Proyecto:	Determinación de la correlación entre los índices DCP <i>in situ</i> y CBR de laboratorio.				
Ubicación:	Sector Guangarcucho.				
Muestra:	1	Ensayo:	1	Profundidad:	0.50 m
Realizado por:	León Francisco - Zeas Raúl				
Fecha:	11/9/2017				

Ensayo de Compactación ASTM-1557

DATOS DEL MOLDE				CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Ensayo:	Proctor Modificado			Peso Molde:	P. Mol=	7510	gr
Molde:	A			Peso Martillo:	P. Mart=	44.50	N
Diámetro:	φ=	15.30	cm	Altura de caída:	Hc=	45.70	cm
Altura:	H=	11.40	cm	Número de capas:	#gol=	5	capas
Área:	A=	183.85	cm ²	Golpes por capa:	gol/cap=	56	golpes
Volumen:	V=	2095.93	cm ³	Material pasante:	#=	3/8"	Tamiz

Contenido de Humedad										
Muestra:	1		2		3		4		5	
Tarro #:	41	13	18	40	171	189	105	P8	63	9
Tarro+suelo Hum (gr)	80.20	79.80	92.30	95.10	97.50	98.40	84.30	93.20	89.90	95.50
Tarro+suelo seco (gr)	76.10	76.20	86.60	89.20	91.30	92.10	78.30	86.30	82.00	87.60
Peso Tarro (gr)	40.60	44.40	40.80	45.00	50.20	50.60	43.80	48.10	40.70	45.50
Humedad (%)	11.55	11.32	12.45	13.35	15.09	15.18	17.39	18.06	19.13	18.76
Humedad prom. (%)	11.44		12.90		15.13		17.73		18.95	

Datos de la curva										
Muestra:	1		2		3		4		5	
W.mol+sue. hum (gr)	11827.00		11977.00		12023.00		11982.00		11911.00	
W. suelo hum (gr)	4317.00		4467.00		4513.00		4472.00		4401.00	
Humedad prom. (%)	11.44		12.90		15.13		17.73		18.95	
Dens. Hum (gr/cm³)	2.06		2.13		2.15		2.13		2.10	
Dens. Seca (gr/cm³)	1.85		1.89		1.87		1.81		1.77	



Resultados	
Humedad Óptima (%)	14.00
Dens. Seca máx (kg/m ³)	1887.00
Dens. Seca máx (kN/m ³)	18.51

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 1 **Ensayo:** 2 **Profundidad:** 0.50 m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 12/9/2017

Ensayo de Compactación ASTM-1557

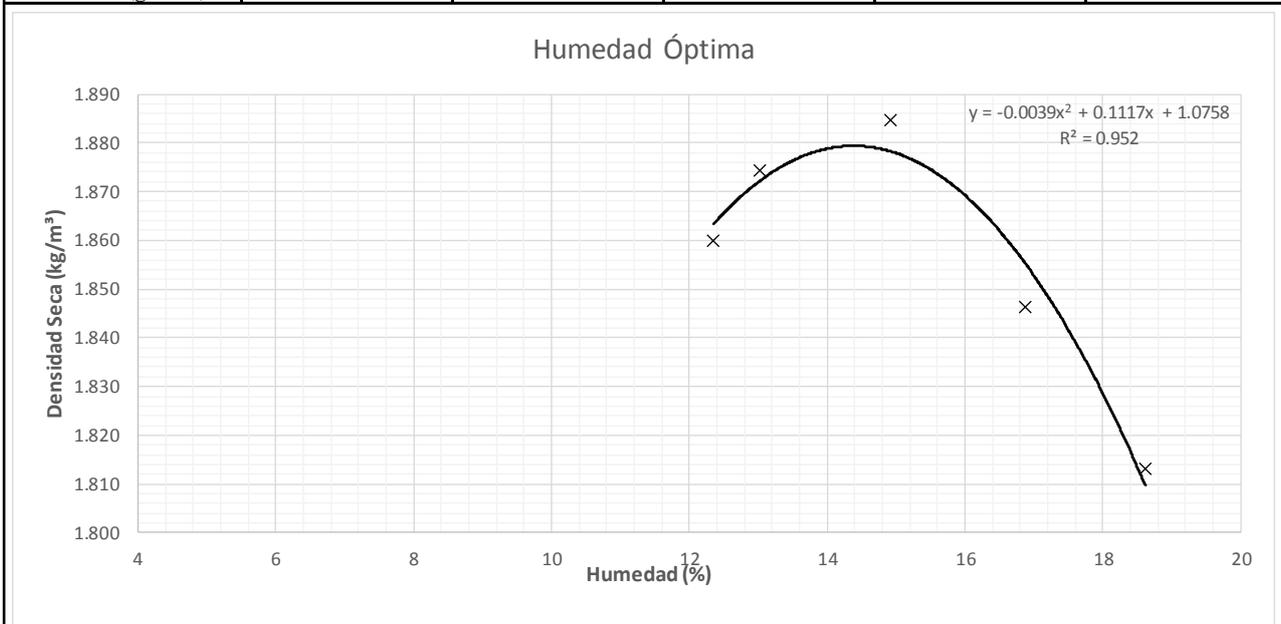
DATOS DEL MOLDE				CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Ensayo:	Proctor Modificado			Peso Molde:	P. Mol=	7510	gr
Molde:	A			Peso Martillo:	P. Mart=	44.50	N
Diámetro:	$\phi=$	15.30	cm	Altura de caída:	Hc=	45.50	cm
Altura:	H=	11.40	cm	Número de capas:	#gol=	5	capas
Área:	A=	183.85	cm ²	Golpes por capa:	gol/cap=	56	golpes
Volumen:	V=	2095.93	cm ³	Material pasante:	#=	3/8"	Tamiz

Contenido de Humedad

Muestra:	1		2		3		4		5	
Tarro #:	24	27	55	69	117	104	103	189	171	41
Tarro+suelo Hum (gr)	87.20	93.50	81.20	85.20	72.90	79.30	79.00	97.60	86.20	79.70
Tarro+suelo seco (gr)	82.20	87.60	76.60	79.90	68.50	74.40	74.00	90.90	80.50	73.60
Peso Tarro (gr)	41.90	39.60	41.30	39.20	38.90	41.70	44.80	50.60	50.20	40.50
Humedad (%)	12.41	12.29	13.03	13.02	14.86	14.98	17.12	16.63	18.81	18.43
Humedad prom. (%)	12.35		13.03		14.92		16.87		18.62	

Datos de la curva

Muestra:	1	2	3	4	5
W.mol+sue. hum (gr)	11890.00	11950.00	12050.00	12033.00	12018.00
W. suelo hum (gr)	4380.00	4440.00	4540.00	4523.00	4508.00
Humedad prom. (%)	12.35	13.03	14.92	16.87	18.62
Dens. Hum (gr/cm³)	2.09	2.12	2.17	2.16	2.15
Dens. Seca (gr/cm³)	1.86	1.87	1.88	1.85	1.81



Resultados

Humedad Óptima (%)	14.32
Dens. Seca máx (kg/m ³)	1876.00
Dens. Seca máx (kN/m ³)	18.40



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 1 **Ensayo:** 3 **Profundidad:** 0.50 m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 11/9/2017

Ensayo de Compactación ASTM-1557

DATOS DEL MOLDE				CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO			
Ensayo:	Proctor Modificado			Peso Molde:	P. Mol=	7510	gr
Molde:	A			Peso Martillo:	P. Mart=	44.50	N
Diámetro:	φ=	15.30	cm	Altura de caída:	Hc=	45.50	cm
Altura:	H=	11.40	cm	Número de capas:	#gol=	5	capas
Área:	A=	183.85	cm ²	Golpes por capa:	gol/cap=	56	golpes
Volumen:	V=	2095.93	cm ³	Material pasante:	#=	3/8"	Tamiz

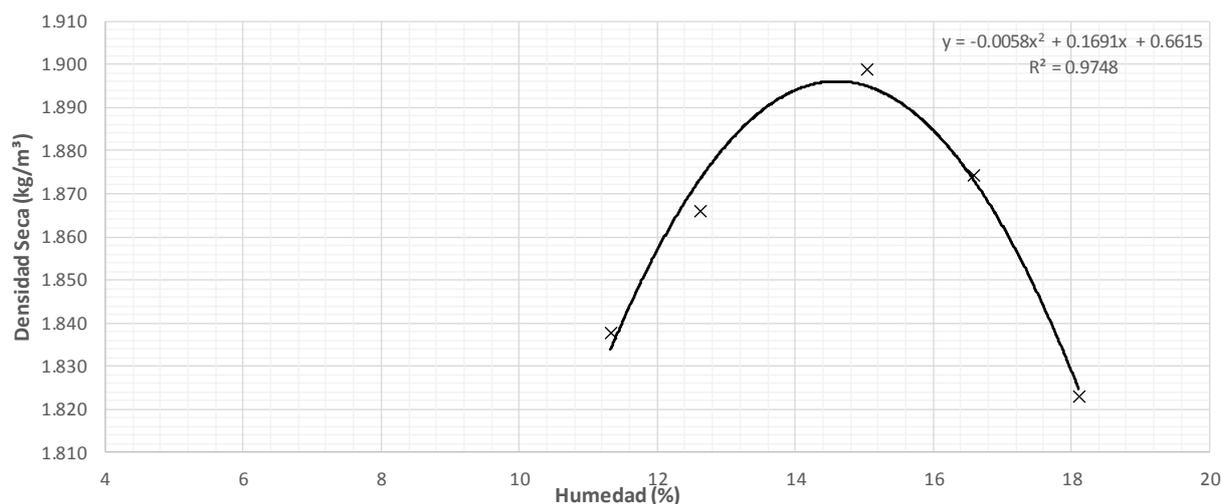
Contenido de Humedad

Muestra:	1		2		3		4		5	
Tarro #:	69	18	24	42	62	54	98	87	27	63
Tarro+suelo Hum (gr)	87.70	91.50	86.80	85.30	91.90	82.50	97.60	101.40	89.40	87.40
Tarro+suelo seco (gr)	82.80	86.30	81.70	80.00	85.30	77.50	89.60	92.50	81.70	80.30
Peso Tarro (gr)	39.20	40.70	41.90	37.40	44.10	41.90	40.80	39.50	39.60	40.70
Humedad (%)	11.24	11.40	12.81	12.44	16.02	14.04	16.39	16.79	18.29	17.93
Humedad prom. (%)	11.32		12.63		15.03		16.59		18.11	

Datos de la curva

Muestra:	1	2	3	4	5
W.mol+sue. hum (gr)	11798.00	11915.00	12088.00	12090.00	12023.00
W. suelo hum (gr)	4288.00	4405.00	4578.00	4580.00	4513.00
Humedad prom. (%)	11.32	12.63	15.03	16.59	18.11
Dens. Hum (gr/cm³)	2.05	2.10	2.18	2.19	2.15
Dens. Seca (gr/cm³)	1.84	1.87	1.90	1.87	1.82

Humedad Óptima



Resultados

Humedad Óptima (%)	14.49
Dens. Seca máx (kg/m ³)	1894.00
Dens. Seca máx (kN/m ³)	18.58

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 2 **Ensayo:** 1 **Profundidad:** 1.50m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 12/9/2017

Ensayo de Compactación ASTM-1557

DATOS DEL MOLDE				CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Ensayo:	Proctor Modificado			Peso Molde:	P. Mol=	7510	gr
Molde:	A			Peso Martillo:	P. Mart=	44.50	N
Diámetro:	ϕ =	15.30	cm	Altura de caída:	Hc=	45.50	cm
Altura:	H=	11.40	cm	Número de capas:	#gol=	5	capas
Área:	A=	183.85	cm ²	Golpes por capa:	gol/cap=	56	golpes
Volumen:	V=	2095.93	cm ³	Material pasante:	#=	3/8"	Tamiz

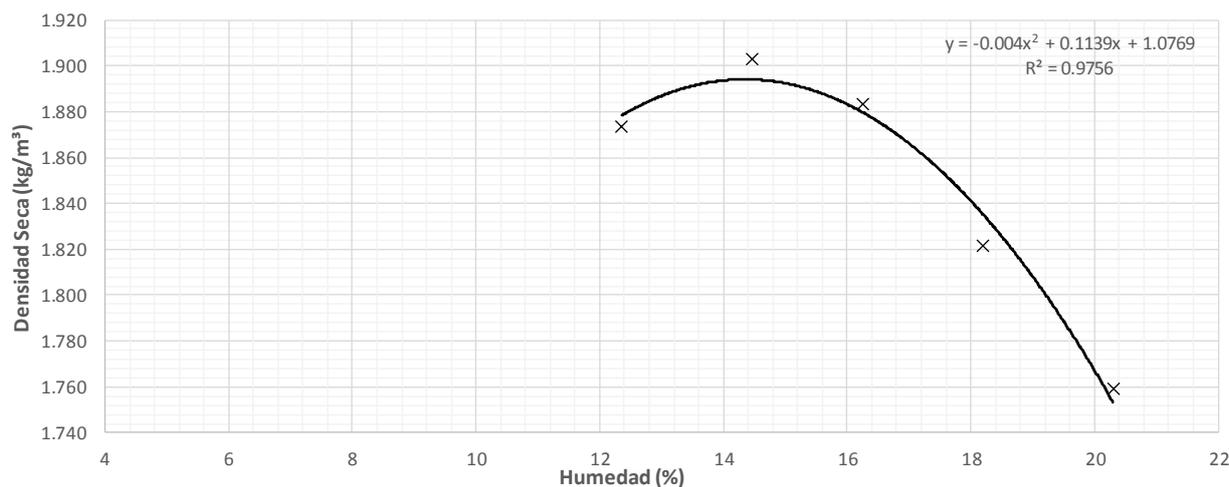
Contenido de Humedad

Muestra:	1		2		3		4		5	
Tarro #:	104	P8	105	13	41	9	103	189	171	41
Tarro+suelo Hum (gr)	91.40	106.90	100.70	97.60	86.30	104.70	89.20	96.50	108.00	94.20
Tarro+suelo seco (gr)	85.90	100.50	93.40	91.00	79.70	96.50	82.30	89.50	98.20	85.20
Peso Tarro (gr)	41.80	48.20	43.90	44.50	39.50	45.50	44.80	50.60	50.20	40.60
Humedad (%)	12.47	12.24	14.75	14.19	16.42	16.08	18.40	17.99	20.42	20.18
Humedad prom. (%)	12.35		14.47		16.25		18.20		20.30	

Datos de la curva

Muestra:	1	2	3	4	5
W.mol+sue. hum (gr)	11922.00	12075.00	12099.00	12023.00	11946.00
W. suelo hum (gr)	4412.00	4565.00	4589.00	4513.00	4436.00
Humedad prom. (%)	12.35	14.47	16.25	18.20	20.30
Dens. Hum (gr/cm³)	2.11	2.18	2.19	2.15	2.12
Dens. Seca (gr/cm³)	1.87	1.90	1.88	1.82	1.76

Humedad Óptima



Resultados

Humedad Óptima (%)	14.24
Dens. Seca máx (kg/m ³)	1888.00
Dens. Seca máx (kN/m ³)	18.52

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 2 **Ensayo:** 2 **Profundidad:** 1.50m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 13/9/2017

Ensayo de Compactación ASTM-1557

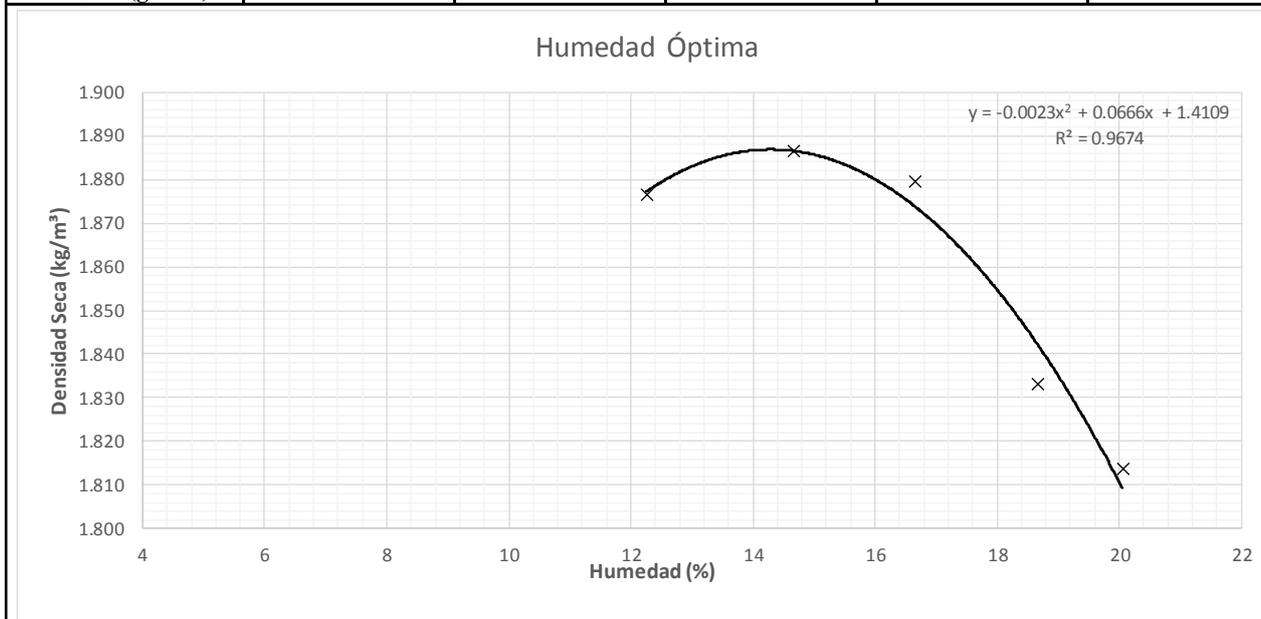
DATOS DEL MOLDE				CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Ensayo:	Proctor Modificado			Peso Molde:	P. Mol=	7510	gr
Molde:	A			Peso Martillo:	P. Mart=	44.50	N
Diámetro:	φ=	15.30	cm	Altura de caída:	Hc=	45.50	cm
Altura:	H=	11.40	cm	Número de capas:	#gol=	5	capas
Área:	A=	183.85	cm ²	Golpes por capa:	gol/cap=	56	golpes
Volumen:	V=	2095.93	cm ³	Material pasante:	#=	3/8"	Tamiz

Contenido de Humedad

Muestra:	1		2		3		4		5	
Tarro #:	103	27	24	63	189	105	41	9	54	41
Tarro+suelo Hum (gr)	87.10	91.60	89.30	84.70	97.20	92.50	84.70	97.60	89.20	87.20
Tarro+suelo seco (gr)	82.50	85.90	83.20	79.10	90.50	85.60	77.60	89.40	81.40	79.30
Peso Tarro (gr)	44.80	39.60	41.90	40.70	50.50	43.90	39.50	45.50	41.90	40.50
Humedad (%)	12.20	12.31	14.77	14.58	16.75	16.55	18.64	18.68	19.75	20.36
Humedad prom. (%)	12.26		14.68		16.65		18.66		20.05	

Datos de la curva

Muestra:	1	2	3	4	5
W.mol+sue. hum (gr)	11925.00	12044.00	12105.00	12069.00	12074.00
W. suelo hum (gr)	4415.00	4534.00	4595.00	4559.00	4564.00
Humedad prom. (%)	12.26	14.68	16.65	18.66	20.05
Dens. Hum (gr/cm³)	2.11	2.16	2.19	2.18	2.18
Dens. Seca (gr/cm³)	1.88	1.89	1.88	1.83	1.81



Resultados

Humedad Óptima (%)	14.48
Dens. Seca máx (kg/m ³)	1893.00
Dens. Seca máx (kN/m ³)	18.57



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 2 **Ensayo:** 3 **Profundidad:** 1.50m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 13/9/2017

Ensayo de Compactación ASTM-1557

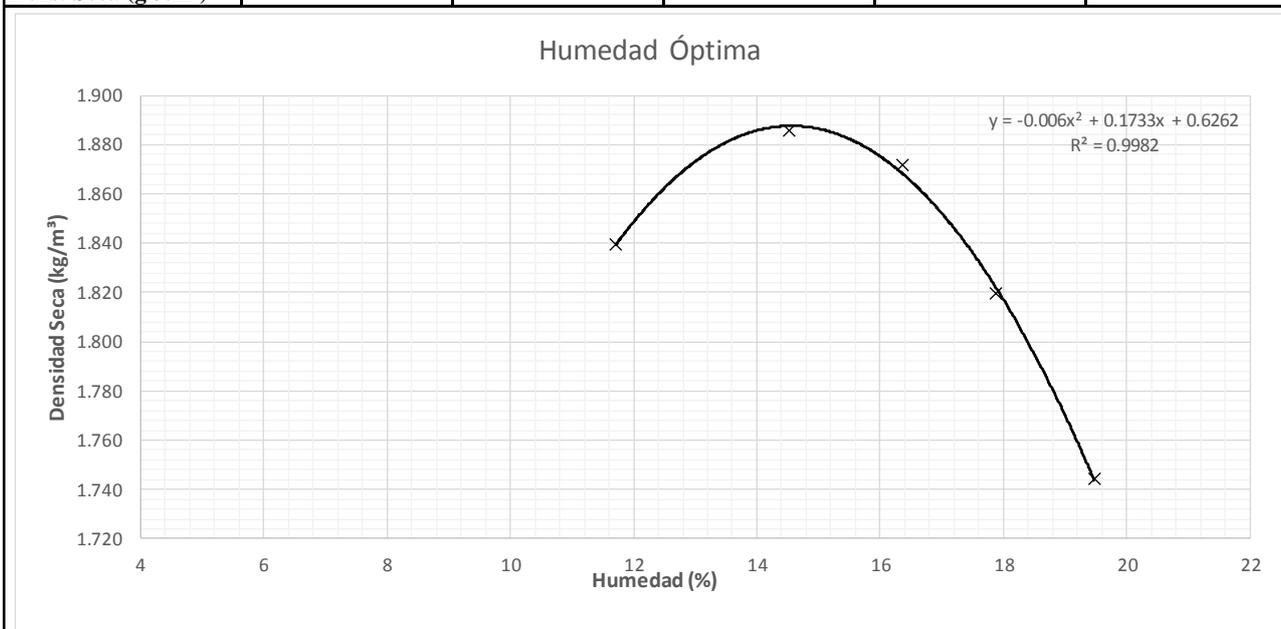
DATOS DEL MOLDE				CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Ensayo:	Proctor Modificado			Peso Molde:	P. Mol=	7510	gr
Molde:	A			Peso Martillo:	P. Mart=	44.50	N
Diámetro:	φ=	15.30	cm	Altura de caída:	Hc=	45.50	cm
Altura:	H=	11.40	cm	Número de capas:	#gol=	5	capas
Área:	A=	183.85	cm ²	Golpes por capa:	gol/cap=	56	golpes
Volumen:	V=	2095.93	cm ³	Material pasante:	#=	3/8"	Tamiz

Contenido de Humedad

Muestra:	1		2		3		4		5	
Tarro #:	32	104	30	40	38	140	13AT	64	87	N
Tarro+suelo Hum (gr)	99.90	95.20	98.30	103.60	86.70	91.90	100.20	99.50	92.60	87.20
Tarro+suelo seco (gr)	94.40	89.60	91.00	96.30	81.00	84.70	91.00	91.20	84.00	79.90
Peso Tarro (gr)	47.40	41.80	41.80	44.90	45.50	41.50	39.80	44.50	39.50	42.70
Humedad (%)	11.70	11.72	14.84	14.20	16.06	16.67	17.97	17.77	19.33	19.62
Humedad prom. (%)	11.71		14.52		16.36		17.87		19.47	

Datos de la curva

Muestra:	1	2	3	4	5
W.mol+sue. hum (gr)	11817.00	12036.00	12075.00	12006.00	11878.00
W. suelo hum (gr)	4307.00	4526.00	4565.00	4496.00	4368.00
Humedad prom. (%)	11.71	14.52	16.36	17.87	19.47
Dens. Hum (gr/cm³)	2.05	2.16	2.18	2.15	2.08
Dens. Seca (gr/cm³)	1.84	1.89	1.87	1.82	1.74



Resultados

Humedad Óptima (%)	14.44
Dens. Seca máx (kg/m ³)	1878.00
Dens. Seca máx (kN/m ³)	18.42

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 3 **Ensayo:** 1 **Profundidad:** 2.50m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 13/9/2017

Ensayo de Compactación ASTM-1557

DATOS DEL MOLDE				CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Ensayo:	Proctor Modificado			Peso Molde:	P. Mol=	6621	gr
Molde:	B			Peso Martillo:	P. Mart=	44.50	N
Diámetro:	ϕ =	15.30	cm	Altura de caída:	Hc=	45.50	cm
Altura:	H=	11.40	cm	Número de capas:	#gol=	5	capas
Área:	A=	183.85	cm ²	Golpes por capa:	gol/cap=	56	golpes
Volumen:	V=	2095.93	cm ³	Material pasante:	#=	3/8"	Tamiz

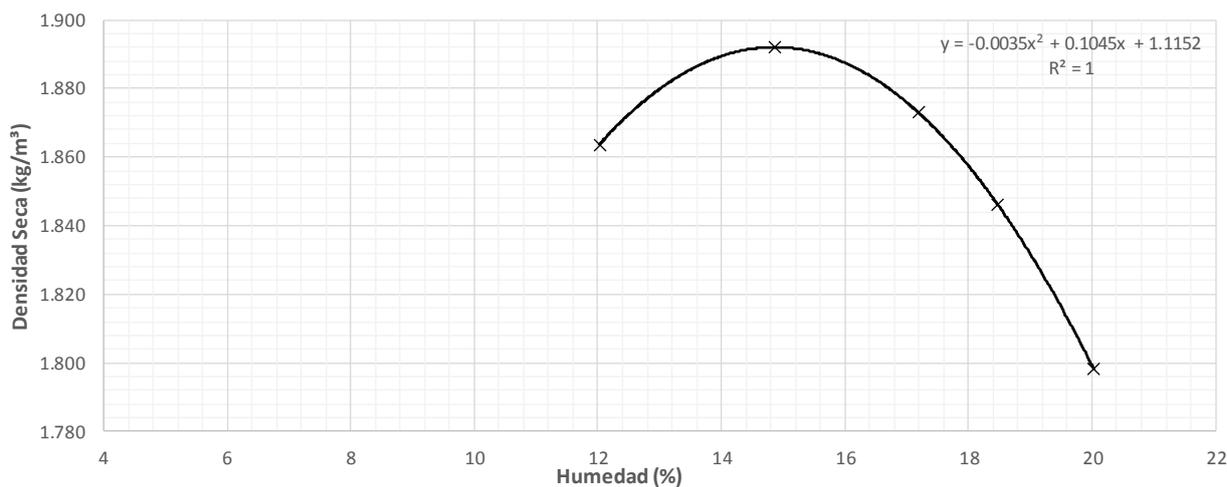
Contenido de Humedad

Muestra:	1		2		3		4		5	
Tarro #:	54	55	P8	13	42	98	18	62	84	31
Tarro+suelo Hum (gr)	104.30	95.60	96.90	83.00	81.60	94.20	91.10	102.80	89.60	95.10
Tarro+suelo seco (gr)	98.00	89.80	90.60	78.00	75.20	86.30	83.30	93.60	80.90	87.30
Peso Tarro (gr)	45.90	41.30	48.20	44.40	37.70	40.70	40.70	44.20	37.40	48.40
Humedad (%)	12.09	11.96	14.86	14.88	17.07	17.32	18.31	18.62	20.00	20.05
Humedad prom. (%)	12.03		14.87		17.20		18.47		20.03	

Datos de la curva

Muestra:	1	2	3	4	5
W.mol+sue. hum (gr)	10997.00	11176.00	11222.00	11205.00	11145.00
W. suelo hum (gr)	4376.00	4555.00	4601.00	4584.00	4524.00
Humedad prom. (%)	12.03	14.87	17.20	18.47	20.03
Dens. Hum (gr/cm³)	2.09	2.17	2.20	2.19	2.16
Dens. Seca (gr/cm³)	1.86	1.89	1.87	1.85	1.80

Humedad Óptima



Resultados

Humedad Óptima (%)	14.93
Dens. Seca máx (kg/m ³)	1895.00
Dens. Seca máx (kN/m ³)	18.59

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 3 **Ensayo:** 2 **Profundidad:** 2.50m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 13/9/2017

Ensayo de Compactación ASTM-1557

DATOS DEL MOLDE				CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO			
Ensayo:	Proctor Modificado			Peso Molde:	P. Mol=	6621	gr
Molde:	B			Peso Martillo:	P. Mart=	44.50	N
Diámetro:	φ=	15.30	cm	Altura de caída:	Hc=	45.50	cm
Altura:	H=	11.40	cm	Número de capas:	#gol=	5	capas
Área:	A=	183.85	cm ²	Golpes por capa:	gol/cap=	56	golpes
Volumen:	V=	2095.93	cm ³	Material pasante:	#=	3/8"	Tamiz

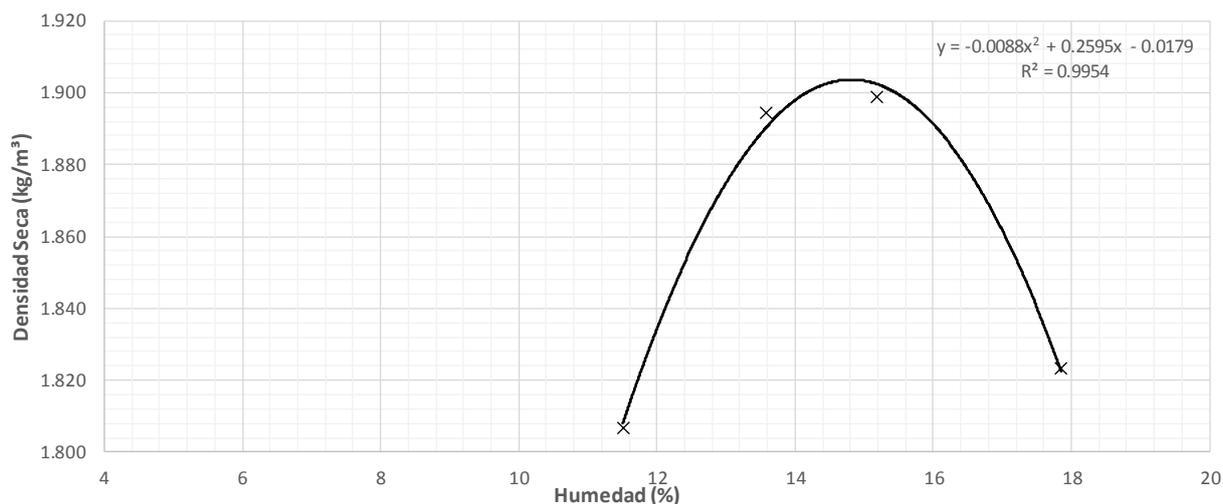
Contenido de Humedad

Muestra:	1		2		3		4		5	
Tarro #:	12	91	99	94	53	42	89	68		
Tarro+suelo Hum (gr)	98.90	94.60	106.50	102.10	105.20	92.80	84.50	100.00		
Tarro+suelo seco (gr)	92.80	88.90	99.30	94.90	97.50	86.40	77.00	91.40		
Peso Tarro (gr)	39.00	40.10	46.60	41.60	47.10	44.00	35.10	43.10		
Humedad (%)	11.34	11.68	13.66	13.51	15.28	15.09	17.90	17.81		
Humedad prom. (%)	11.51		13.59		15.19		17.85			

Datos de la curva

Muestra:	1	2	3	4	5
W.mol+sue. hum (gr)	10844.00	11131.00	11205.00	11125.00	
W. suelo hum (gr)	4223.00	4510.00	4584.00	4504.00	
Humedad prom. (%)	11.51	13.59	15.19	17.85	
Dens. Hum (gr/cm³)	2.01	2.15	2.19	2.15	
Dens. Seca (gr/cm³)	1.81	1.89	1.90	1.82	

Humedad Óptima



Resultados

Humedad Óptima (%)	14.74
Dens. Seca máx (kg/m ³)	1895.00
Dens. Seca máx (kN/m ³)	18.59

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.
Ubicación: Sector Guangarcucho.
Muestra: 3 **Ensayo:** 3 **Profundidad:** 2.50m
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl
Fecha: 14/9/2017

Ensayo de Compactación ASTM-1557

DATOS DEL MOLDE				CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO			
Ensayo:	Proctor Modificado			Peso Molde:	P. Mol=	6621	gr
Molde:	B			Peso Martillo:	P. Mart=	44.50	N
Diámetro:	ϕ=	15.30	cm	Altura de caída:	Hc=	45.50	cm
Altura:	H=	11.40	cm	Número de capas:	#gol=	5	capas
Área:	A=	183.85	cm ²	Golpes por capa:	gol/cap=	56	golpes
Volumen:	V=	2095.93	cm ³	Material pasante:	#=	3/8"	Tamiz

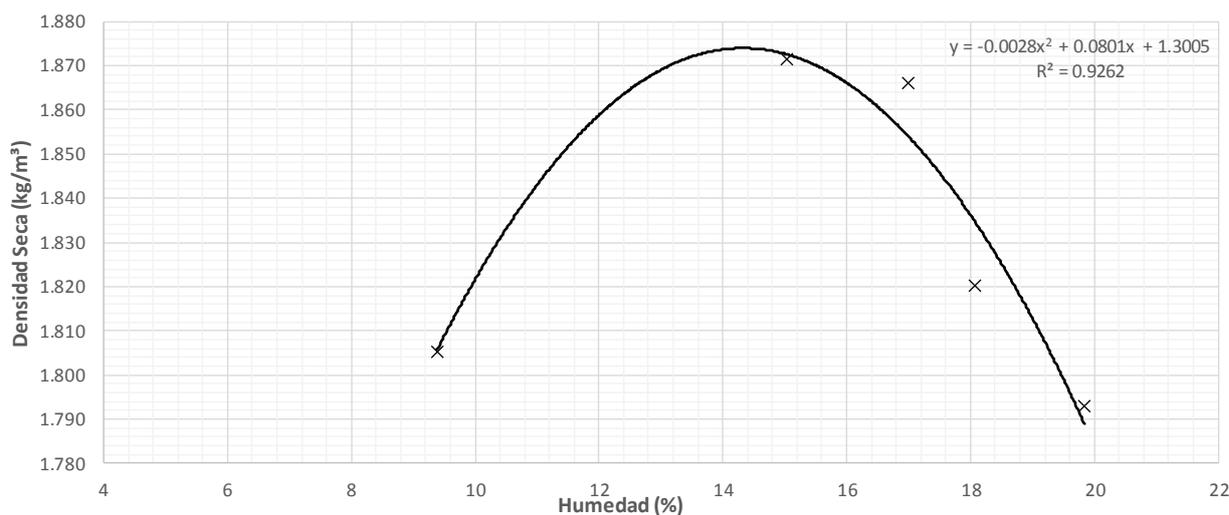
Contenido de Humedad

Muestra:	1		2		3		4		5	
Tarro #:	24	104	54	103	38	13	140	189	105	27
Tarro+suelo Hum (gr)	103.00	98.30	96.90	112.30	104.30	99.70	86.80	95.10	88.40	84.00
Tarro+suelo seco (gr)	97.70	93.50	89.70	103.50	95.80	91.60	79.80	88.30	80.90	76.50
Peso Tarro (gr)	41.90	41.70	41.90	44.80	45.20	44.40	41.50	50.20	43.00	38.80
Humedad (%)	9.50	9.27	15.06	14.99	16.80	17.16	18.28	17.85	19.79	19.89
Humedad prom. (%)	9.38		15.03		16.98		18.06		19.84	

Datos de la curva

Muestra:	1	2	3	4	5
W.mol+sue. hum (gr)	10760.00	11133.00	11196.00	11125.00	11125.00
W. suelo hum (gr)	4139.00	4512.00	4575.00	4504.00	4504.00
Humedad prom. (%)	9.38	15.03	16.98	18.06	19.84
Dens. Hum (gr/cm³)	1.97	2.15	2.18	2.15	2.15
Dens. Seca (gr/cm³)	1.81	1.87	1.87	1.82	1.79

Humedad Óptima



Resultados

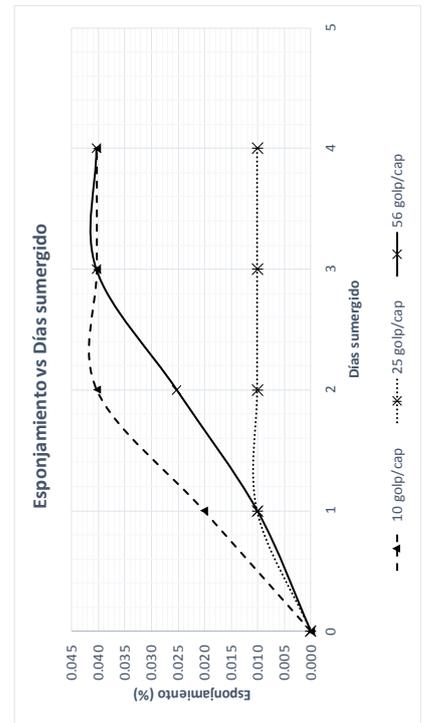
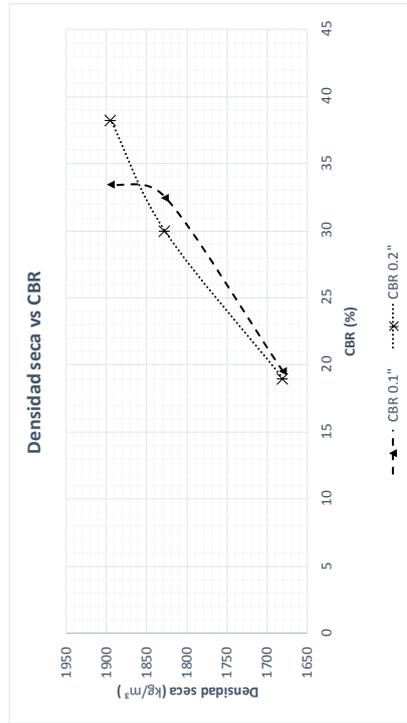
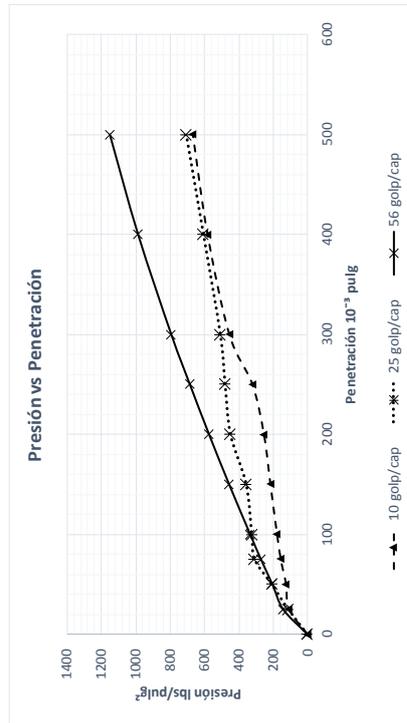
Humedad Óptima (%)	14.31
Dens. Seca máx (kg/m ³)	1873.00
Dens. Seca máx (kN/m ³)	18.37

Anexo 5: Ensayo CBR.

UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería									
Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP <i>in situ</i> y CBR de laboratorio. Ubicación: Sector Guangarcucho. Muestra: 1 León Francisco - Zeas Raúl Ensayo: 1 Profundidad: 0,50m Realizado por: 18/9/2017 Fecha:									
Razón de Soporte de California "CBR" ASTM D-1583-07									
Molde #:		A		B		C		Datos molde	
Número de capas		5		5		5		Diámetro: ø= 6 pulg	
Golpes/capa		10		25		56		Altura: H= 7 pulg	
Especimen		Antes de remojo		Después de remojo		Antes de remojo		Después de remojo	
W. molde+suel. Hum (gr)		12747.00		12985.00		13160.00		13227.00	
W. molde (gr)		8274.00		8037.00		8098.00		8098.00	
Diámetro molde (cm)		15.30		15.40		15.30		15.30	
Altura molde (cm)		12.60		12.60		12.60		12.60	
Volumen molde (cm³)		2316.56		2346.94		2316.56		2316.56	
W. suelo hum. (gr)		4473.00		4948.00		5104.00		5129.00	
Dens. Humeda (gr/cm³)		1.93		2.02		2.17		2.21	
Humedad (%)		14.87		22.60		18.88		17.83	
Dens. Seca (gr/cm³)		1.68		1.65		1.83		1.88	
Contenido de humedad (antes de remojo)									
Tarro #:		69		94		30		27	
Tarro+suelo humedo (gr)		93.40		99.40		88.70		89.50	
Tarro+suelo seco (gr)		86.40		91.90		82.40		82.90	
Peso tarro (gr)		39.20		41.60		41.70		39.60	
Contenido de humedad (%)		14.83		14.91		15.48		15.24	
Humedad prom. (%)		14.87		15.36		15.28		15.37	
Contenido de humedad (después de remojo)									
Tarro #:		27		117		171		42	
Tarro+suelo humedo (gr)		101.70		98.40		129.80		107.00	
Tarro+suelo seco (gr)		90.20		87.50		117.20		96.00	
Peso tarro (gr)		39.60		39.00		50.30		37.90	
Contenido de humedad (%)		22.73		22.47		18.83		18.93	
Humedad prom. (%)		22.60		18.88		18.88		17.83	
Esponjamiento									
Fecha		Días sumergido		A		B		C	
18/9/2017		0		Lect. Dial 0.001 pulg		Lect. Dial 0.001 pulg		Lect. Dial 0.001 pulg	
19/9/2017		1		Alt. Mues. pulg		Alt. Mues. pulg		Alt. Mues. pulg	
20/9/2017		2		Esponjamiento pulg		Esponjamiento pulg		Esponjamiento pulg	
21/9/2017		3		Esponjamiento %		Esponjamiento %		Esponjamiento %	
22/9/2017		4		Hora		Hora		Hora	
16:00:00		16:00:00		0.00		0.00		0.00	
16:00:00		16:00:00		4.96		4.96		4.96	
16:00:00		16:00:00		0.001		0.001		0.001	
16:00:00		16:00:00		0.002		0.002		0.002	
16:00:00		16:00:00		0.002		0.002		0.002	
16:00:00		16:00:00		0.040		0.040		0.040	
16:00:00		16:00:00		0.040		0.040		0.040	
16:00:00		16:00:00		0.040		0.040		0.040	

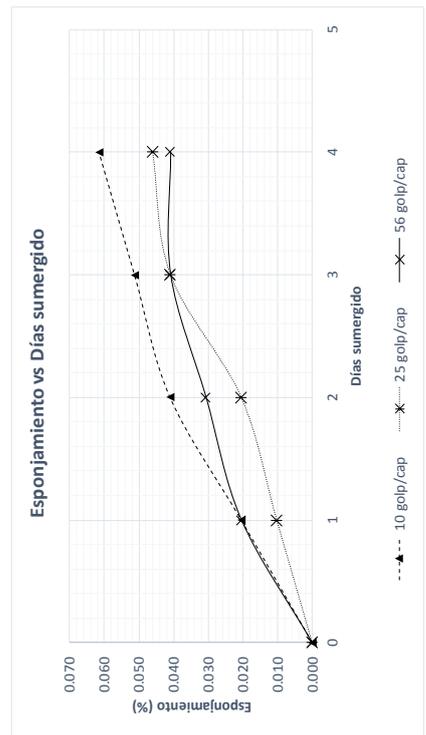
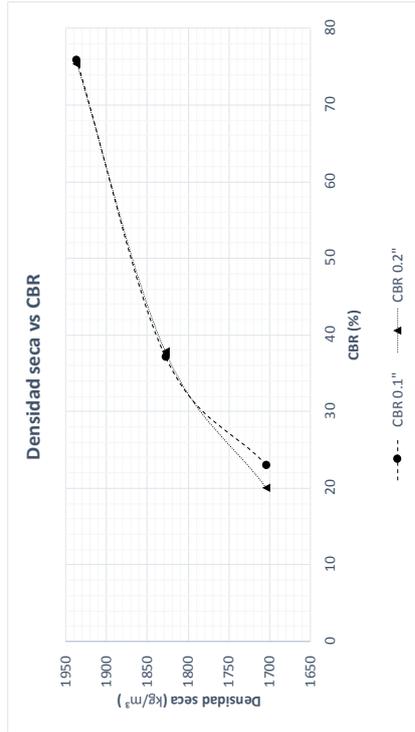
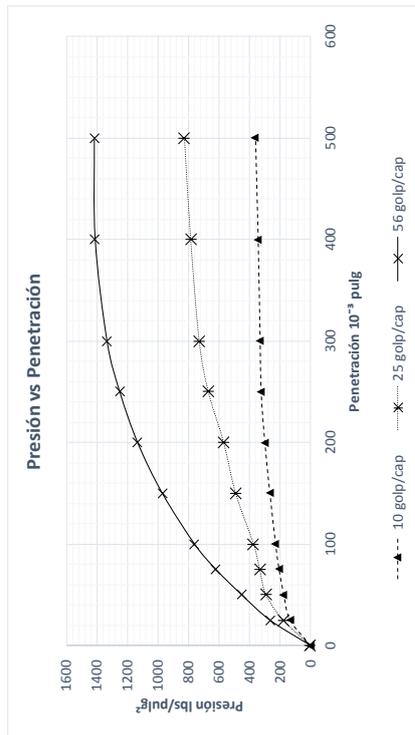


Datos de penetración																				
Tiempo min	Penetración in	A				B				C										
		Carga lbs	Presión lbs/pulg ²	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	CBR %	Carga lbs	Presión lbs/pulg ²	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	CBR %	Carga lbs	Presión lbs/pulg ²	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	CBR %				
0	0	0.00	0.00				0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00				
0.5	2.5	332.89	109.50				341.71	112.41			432.10	142.14			623.90	205.23				
1	50	383.60	126.18				632.72	208.13			826.73	271.95			1016.32	334.32				
1.5	75	476.19	156.64				936.96	308.21			1388.90	456.87			1743.84	573.63				
2	100	542.33	178.40	195.00	1000	19.50	987.66	324.89	1000	32.49	1500	29.94		2083.35	685.31					
3	150	659.18	216.83				1086.87	357.52			1845.25	606.99			2411.83	793.37				
4	200	773.81	254.54	285.00	1500	19.00	1365.45	449.16	1500	29.94	2151.69	707.79		2998.26	986.27					
5	250	976.64	321.26				1461.38	480.72			3498.70	1150.89								
6	300	1384.49	455.42				1845.25	606.99												
8	400	1768.09	581.61																	
10	500	2028.23	667.18																	



UNIVERSIDAD DE CUENCA										
Facultad de Ingeniería										
Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP <i>in situ</i> y CBR de laboratorio.										
Ubicación: Sector Guanguarcho.										
Muestra: 2 Ensayo: 1 Profundidad: 1.50m										
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl										
Fecha: 18/9/2017										
Razón de Sople de California "CBR" ASTM D-1583-07										
Molde #:	D	E	F							
Número de capas	5	5	5							
Golpes/capa	10	25	56							
Espección	Antes de remojo	Déspués de remojo	Antes de remojo	Déspués de remojo	Antes de remojo	Déspués de remojo				
W. molde+suel. Hum (gr)	11519.00	11801.00	12975.00	13114.00	12095.00	12143.00				
W. molde (gr)	7118.00	7118.00	8252.00	8252.00	7118.00	7118.00				
Diámetro molde (cm)	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20				
Altura molde (cm)	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40				
Volumen molde (cm ³)	2250.08	2250.08	2250.08	2250.08	2250.08	2250.08				
W. suelo hum. (gr)	4401.00	4683.00	4723.00	4862.00	4977.00	5025.00				
Dens. Humeda (gr/cm ³)	1.96	2.08	2.10	2.16	2.21	2.23				
Humedad (%)	14.74	21.91	14.82	19.46	14.21	17.89				
Dens. Seca (gr/cm ³)	1.70	1.71	1.83	1.81	1.94	1.89				
Contenido de humedad (antes de remojo)										
Tarro #:	62	64	103	189	171	69				
Tarro+suelo humedo (gr)	101.70	98.30	94.40	111.00	132.30	104.20				
Tarro+suelo seco (gr)	94.30	91.40	88.00	103.20	122.10	96.10				
Peso tarro (gr)	44.20	44.50	44.80	50.60	50.20	39.20				
Contenido de humedad (%)	14.77	14.71	14.81	14.83	14.19	14.24				
Humedad prom. (%)	14.74			14.82		14.21				
Contenido de humedad (déspués de remojo)										
Tarro #:	69	P8	55	64	189	41				
Tarro+suelo humedo (gr)	125.40	129.70	112.30	128.10	123.20	100.60				
Tarro+suelo seco (gr)	110.20	114.80	100.80	114.40	112.30	91.40				
Peso tarro (gr)	39.30	48.20	41.30	44.50	50.60	40.60				
Contenido de humedad (%)	21.44	22.37	19.33	19.60	17.67	18.11				
Humedad prom. (%)	21.91			19.46		17.89				
Esponjamiento										
Fecha	Días sumergido	D			E			F		
		Lect. Dial	Alt. Mues.	Esponjamiento	Lect. Dial	Alt. Mues.	Esponjamiento	Lect. Dial	Alt. Mues.	Esponjamiento
		0.001 pulg	pulg	%	0.001 pulg	pulg	%	0.001 pulg	pulg	%
18/9/2017	0	16:00:00	4.88	0.000	0.00	4.88	0.000	0.00	4.88	0.000
19/9/2017	1	16:00:00	4.88	0.001	0.50	4.88	0.001	1.00	4.88	0.001
20/9/2017	2	16:00:00	4.88	0.002	1.00	4.88	0.001	1.50	4.88	0.002
21/9/2017	3	16:00:00	4.88	0.003	2.00	4.88	0.002	2.00	4.88	0.002
22/9/2017	4	16:00:00	4.88	0.003	2.25	4.88	0.002	2.00	4.88	0.002

Datos de penetración											
Tiempo min	Penetración n 0.001"	D			E			F			CBR %
		Carga lbs	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	Carga lbs	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	Carga lbs	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	
0	0	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		
0.5	25	410.06	134.89		542.33	178.40		804.68	264.70		
1	50	535.72	176.22		884.54	290.97		1369.06	450.35		
1.5	75	630.52	207.41		1008.60	331.78		1880.52	618.59		
2	100	701.06	230.61	1000	1130.08	371.74	1000	2306.01	758.56	1000	75.86
3	150	815.70	268.32		1487.00	489.14		2947.55	969.59		
4	200	917.11	301.68	1500	1724.50	567.27	1500	3439.18	1131.31	1500	75.42
5	250	992.07	326.34		2029.41	667.57		3794.12	1248.06		
6	300	1011.91	332.87		2211.21	727.37		4047.65	1331.46		
8	400	1051.59	345.92		2380.97	783.21		4283.54	1409.06		
10	500	1104.50	363.32		2504.43	823.82		4301.17	1414.86		

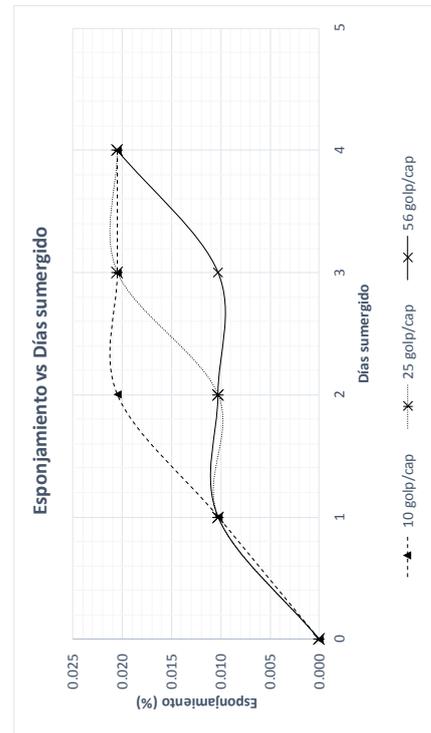
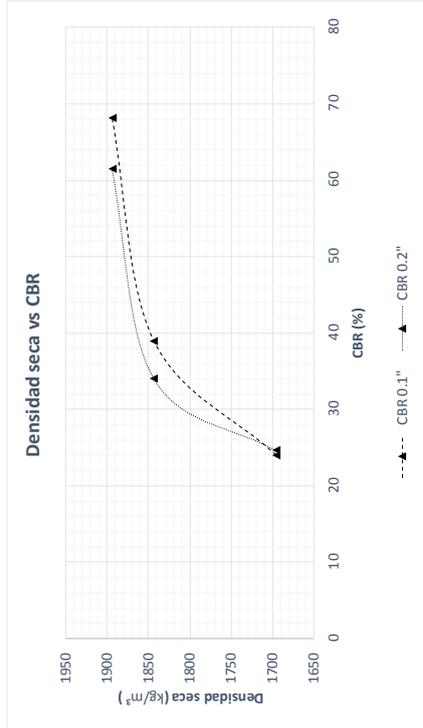
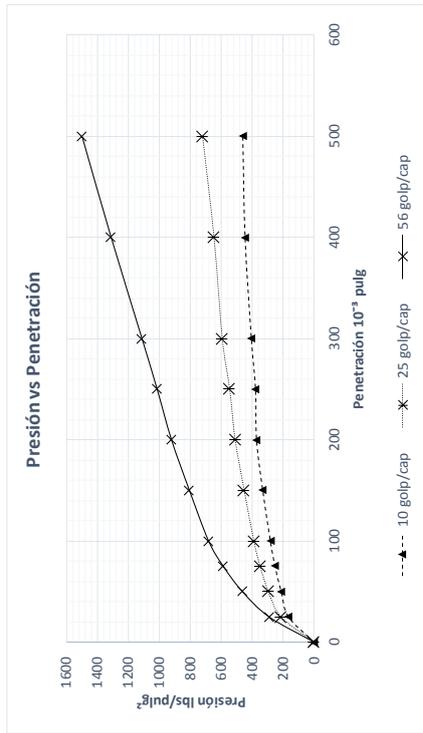




UNIVERSIDAD DE CUENCA										
Facultad de Ingeniería										
Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP <i>in situ</i> y CBR de laboratorio.										
Ubicación: Sector Guangarcucho.										
Muestra: 3 Ensayo: 1 Profundidad: 2.50m										
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl										
Fecha: 18/9/2017										
Razón de Soporte de California "CBR" ASTM D-1583-07										
Molde #:	G		H		I		Datos molde			
Número de capas	5		5		5		Diámetro:	ø=	6	pulg
Golpes/capa	10		25		56		Altura:	H=	7	pulg
Especímen	Antes de remojo	Déspués de remojo	Antes de remojo	Déspués de remojo	Antes de remojo	Déspués de remojo	Volumen	V=	197.92	pulg³
W. molde+suel. Hum (gr)	11516.00	11773.00	12274.00	12516.00	12488.00	12614.00	Área Pistón	A=	3.04	pulg²
W. molde (gr)	7111.00	7111.00	7501.00	7501.00	7573.00	7573.00				
Diámetro molde (cm)	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20				
Altura molde (cm)	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40				
Volumen molde (cm³)	2250.08	2250.08	2250.08	2250.08	2250.08	2250.08				
W. suelo hum. (gr)	4405.00	4662.00	4773.00	5015.00	4915.00	5041.00				
Dens. Humeda (gr/cm³)	1.96	2.07	2.12	2.23	2.18	2.24				
Humedad (%)	15.47	21.94	15.09	18.66	15.35	17.13				
Dens. Seca (gr/cm³)	1.70	1.70	1.84	1.88	1.89	1.91				
Contenido de humedad (antes de remojo)										
Tarro #:	42	12	42	59	91	38				
Tarro+suelo humedo (gr)	105.60	102.40	113.30	95.70	97.00	105.10				
Tarro+suelo seco (gr)	96.40	94.00	104.30	88.10	89.40	97.20				
Peso tarro (gr)	37.80	38.90	44.10	38.20	40.10	45.50				
Contenido de humedad (%)	15.70	15.25	14.95	15.23	15.42	15.28				
Humedad prom. (%)	15.47		15.09		15.35					
Contenido de humedad (déspués de remojo)										
Tarro #:	27	189	42	117	41	38				
Tarro+suelo humedo (gr)	111.70	130.00	125.00	90.30	109.00	118.00				
Tarro+suelo seco (gr)	98.70	115.70	111.30	82.20	98.90	107.50				
Peso tarro (gr)	39.40	50.60	37.70	38.90	40.60	45.50				
Contenido de humedad (%)	21.92	21.97	18.61	18.71	17.32	16.94				
Humedad prom. (%)	21.94		18.66		17.13					
Esponjamiento										
Fecha	Días sumergido	G			H			I		
		Lect. Dial	Alt. Mues.	Esponjamiento	Lect. Dial	Alt. Mues.	Esponjamiento	Lect. Dial	Alt. Mues.	Esponjamiento
		0.001 pulg	pulg	%	0.001 pulg	pulg	%	0.001 pulg	pulg	%
18/9/2017	0	0.00	4.88	0.000	0.00	4.88	0.000	0.00	4.88	0.000
19/9/2017	1	0.50	4.88	0.010	0.50	4.88	0.010	0.50	4.88	0.010
20/9/2017	2	1.00	4.88	0.020	0.50	4.88	0.010	0.50	4.88	0.010
21/9/2017	3	1.00	4.88	0.020	1.00	4.88	0.020	0.50	4.88	0.010
22/9/2017	4	1.00	4.88	0.020	1.00	4.88	0.020	1.00	4.88	0.020

Datos de penetración

Tiempo min	Penetración n 0.001"	G				H				I			
		Carga lbs	Presión lbs/pulg ²	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	Carga lbs	Presión lbs/pulg ²	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	Carga lbs	Presión lbs/pulg ²	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²
0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
0.5	25	500.44	164.62			650.36	213.93			884.04	290.80		
1	50	641.54	211.03			897.27	295.16			1408.74	463.40		
1.5	75	762.79	250.92			1060.41	348.82			1783.52	586.68		
2	100	853.18	280.65	240.00	1000	1183.87	389.43	389.43	1000	2072.32	681.69	681.69	1000
3	150	1003.09	329.96			1373.47	451.80			2449.31	805.69		
4	200	1124.35	369.85	369.85	1500	1552.04	510.54	510.54	1500	2802.05	921.73	921.73	1500
5	250	1144.19	376.38			1660.06	546.07			3084.24	1014.55		
6	300	1225.76	403.21			1805.57	593.94			3381.86	1112.45		
8	400	1349.22	443.82			1968.71	647.60			3988.12	1311.88		
10	500	1393.31	458.32			2193.58	721.57			4561.32	1500.43		

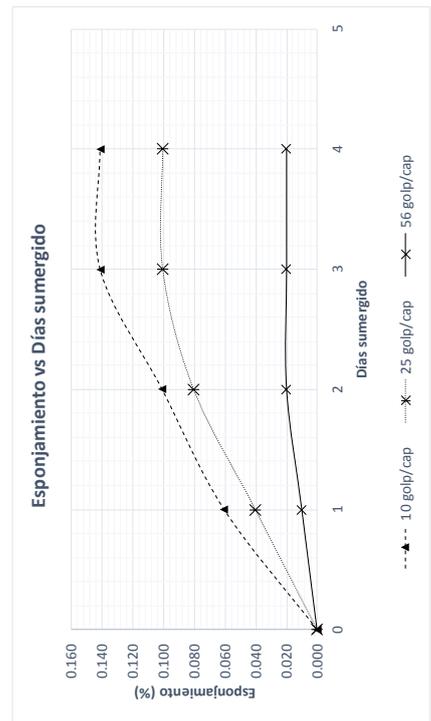
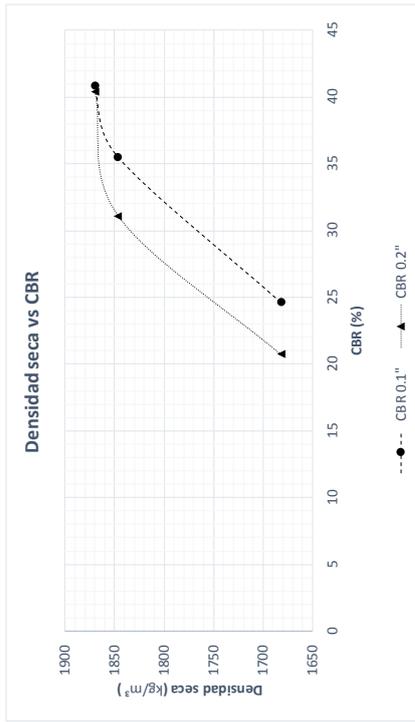
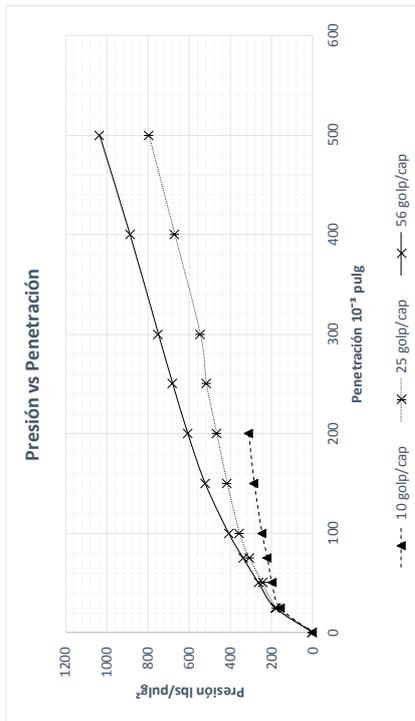




UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería										
Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP <i>in situ</i> y CBR de laboratorio. Ubicación: Sector Guangarcucho. Muestra: 1 Ensayo: 2 Profundidad: 0.50m Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl Fecha: 25/9/2017										
Razón de Soporte de California "CBR" ASTM D-1583-07										
Molde #:	A			B			C			
	Número de capas	Golpes/capa		Antes de remojo		Después de remojo		Después de remojo		
	5	10	5	25	56					
W. molde+suel. Hum (gr)	12745.00	12954.00	13019.00	13161.00	13058.00	13171.00				
W. molde (gr)	8274.00	8274.00	8037.00	8037.00	8098.00	8098.00				
Diámetro molde (cm)	15.30	15.30	15.40	15.40	15.30	15.30				
Altura molde (cm)	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60				
Volumen molde (cm³)	2316.56	2316.56	2346.94	2346.94	2316.56	2316.56				
W. suelo hum. (gr)	4471.00	4680.00	4982.00	5124.00	4960.00	5073.00				
Dens. Humeda (gr/cm³)	1.93	2.02	2.12	2.18	2.14	2.19				
Humedad (%)	14.77	21.95	14.97	18.68	14.50	16.70				
Dens. Seca (gr/cm³)	1.68	1.66	1.85	1.84	1.87	1.88				
Contenido de humedad (antes de remojo)										
Tarro #:	13	73	16	55	50	140				
Tarro+suelo humedo (gr)	116.50	120.20	123.40	109.60	122.80	120.10				
Tarro+suelo seco (gr)	107.20	110.30	112.40	100.70	112.70	110.20				
Peso tarro (gr)	44.60	42.90	39.00	41.20	43.50	41.50				
Contenido de humedad (%)	14.86	14.69	14.99	14.96	14.60	14.41				
Humedad prom. (%)	14.77		14.97		14.50					
Contenido de humedad (después de remojo)										
Tarro #:	24	63	40	27	54	50				
Tarro+suelo humedo (gr)	87.80	89.80	83.80	93.40	90.00	96.10				
Tarro+suelo seco (gr)	79.51	81.01	77.81	84.80	83.11	88.58				
Peso tarro (gr)	41.90	40.80	45.00	39.80	41.90	43.50				
Contenido de humedad (%)	22.04	21.86	18.26	19.11	16.72	16.68				
Humedad prom. (%)	21.95		18.68		16.70					
Esponjamiento										
Fecha	Días sumergido	A			B			C		
		Lect. Dial	Alt. Mues.	Esponjamiento	Lect. Dial	Alt. Mues.	Esponjamiento	Lect. Dial	Alt. Mues.	Esponjamiento
		0.001 pulg	pulg	%	0.001 pulg	pulg	%	0.001 pulg	pulg	%
25/9/2017	0	0.00	4.96	0.000	0.00	4.96	0.000	0.00	4.96	0.000
26/9/2017	1	3.00	4.96	0.003	2.00	4.96	0.002	0.50	4.96	0.001
27/9/2017	2	5.00	4.96	0.005	4.00	4.96	0.004	1.00	4.96	0.001
28/9/2017	3	7.00	4.96	0.007	5.00	4.96	0.005	1.00	4.96	0.001
29/9/2017	4	7.00	4.96	0.007	5.00	4.96	0.005	1.00	4.96	0.001



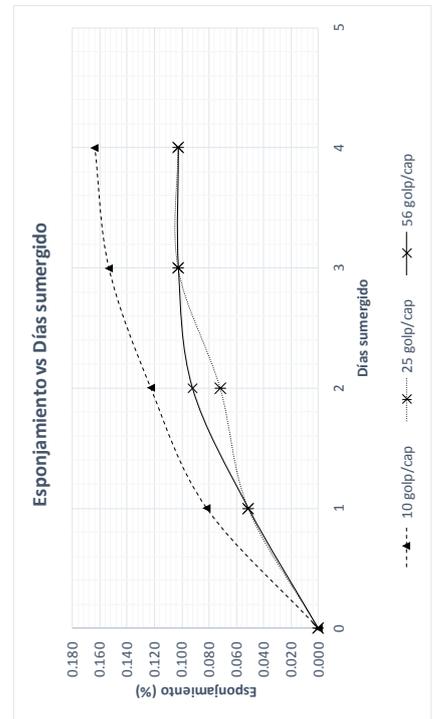
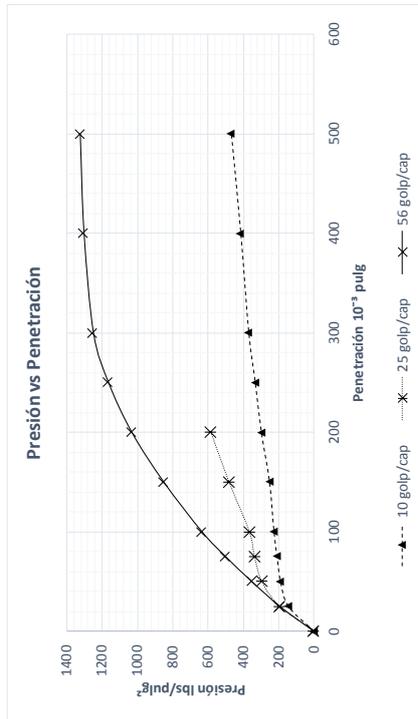
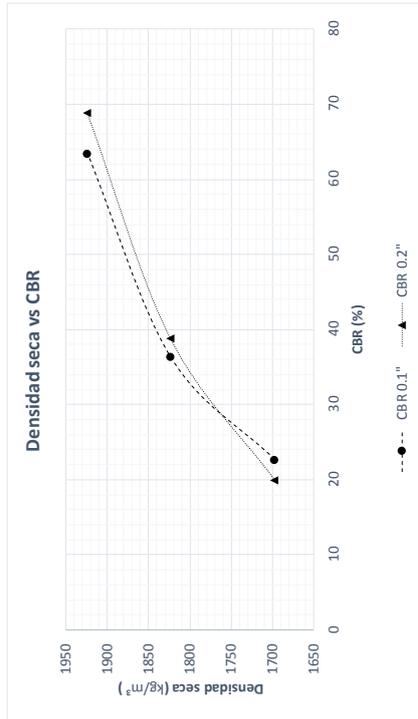
Datos de penetración																	
Tiempo min	Penetración n	A				B				C							
		Carga lbs	Presión lbs/pulg ²	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	CBR %	Carga lbs	Presión lbs/pulg ²	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	CBR %	Carga lbs	Presión lbs/pulg ²	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	CBR %	
0	0	0.00	0.00				0.00	0.00				0.00	0.00				
0.5	25	482.81	158.82				531.31	174.77				555.56	182.75				
1	50	604.06	198.70				738.54	242.94				800.27	263.25				
1.5	75	670.20	220.46				936.96	308.21				1027.34	337.94				
2	100	749.56	246.57	246.57	24.66	24.66	1080.25	355.35	1000	35.53	1241.19	408.29	408.29	1000	40.83		
3	150	864.20	284.28				1263.24	415.54				1587.31	522.14				
4	200	945.77	311.11	311.11	20.74	20.74	1417.56	466.30	1500	31.09	1843.05	606.27	606.27	1500	40.42		
5	250						1569.68	516.34				2065.71	679.51				
6	300						1660.06	546.07				2277.35	749.13				
8	400						2037.05	670.08				2696.23	886.92				
10	500						2420.65	796.27				3145.96	1034.86				



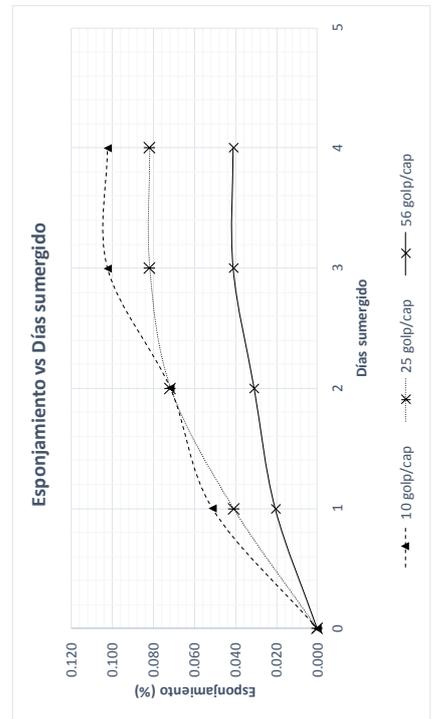
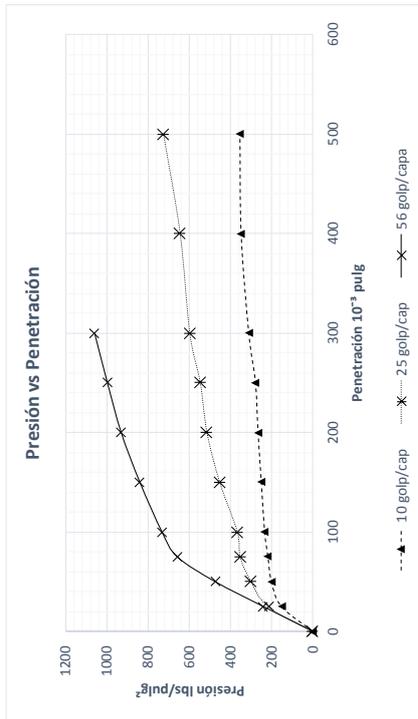
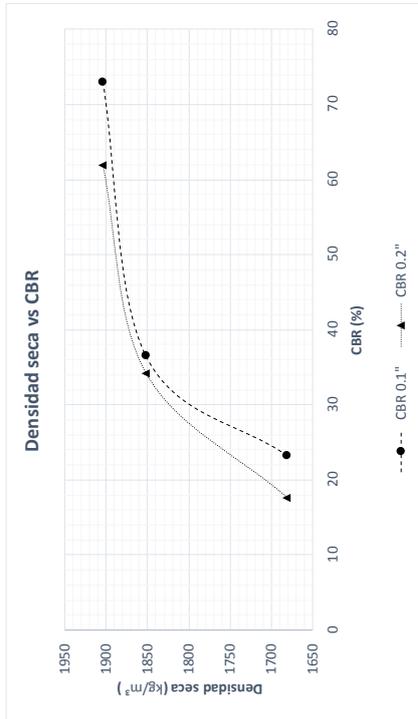


UNIVERSIDAD DE CUENCA									
Facultad de Ingeniería									
Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP <i>in situ</i> y CBR de laboratorio.									
Ubicación: Sector Guangarcucho.									
Muestra: 2 Ensayo: 2 Profundidad: 1.50m									
Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl									
Fecha: 25/9/2017									
Razón de Soporte de California "CBR" ASTM D-1583-07									
Molde #:	D	E	F						
Número de capas	5	5	5						
Golpes/capa	10	25	56						
Especimen	Antes de remojo		Después de remojo		Antes de remojo		Después de remojo		
W. molde+suel. Hum (gr)	11498.00	11816.00	12970.00	13089.00	12065.00	12133.00			
W. molde (gr)	7118.00	7118.00	8252.00	8252.00	7118.00	7118.00			
Díametro molde (cm)	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20			
Altura molde (cm)	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40	12.40			
Volumen molde (cm³)	2250.08	2250.08	2250.08	2250.08	2250.08	2250.08			
W. suelo hum. (gr)	4380.00	4698.00	4718.00	4837.00	4947.00	5015.00			
Dens. Humeda (gr/cm³)	1.95	2.09	2.10	2.15	2.20	2.23			
Humedad (%)	14.67	21.08	14.97	17.78	14.24	18.79			
Dens. Seca (gr/cm³)	1.70	1.72	1.82	1.83	1.92	1.88			
Contenido de humedad (antes de remojo)									
Tarro #:	18	99	P8	171	64	20			
Tarro+suelo humedo (gr)	127.00	139.40	147.50	143.00	135.20	127.60			
Tarro+suelo seco (gr)	115.80	127.70	134.70	130.80	123.70	117.60			
Peso tarro (gr)	40.70	46.60	48.20	50.20	44.50	46.00			
Contenido de humedad (%)	14.91	14.43	14.80	15.14	14.52	13.97			
Humedad prom. (%)	14.67	14.67	14.97	14.24					
Contenido de humedad (después de remojo)									
Tarro #:	69	17	62	136	31	9			
Tarro+suelo humedo (gr)	107.20	89.70	94.70	94.70	111.70	105.80			
Tarro+suelo seco (gr)	95.62	80.93	86.83	86.87	102.09	95.88			
Peso tarro (gr)	39.20	40.40	44.10	41.20	48.40	45.50			
Contenido de humedad (%)	20.52	21.64	18.42	17.14	17.90	19.69			
Humedad prom. (%)	21.08	21.08	17.78	17.78	18.79				
Espojamiento									
Fecha	Días sumergido	D		E		F		F	
		Lect. Dial	Alt. Mues.	Lect. Dial	Alt. Mues.	Lect. Dial	Alt. Mues.	Lect. Dial	Alt. Mues.
		0.001 pulg	pulg	0.001 pulg	pulg	0.001 pulg	pulg	0.001 pulg	pulg
25/9/2017	0	16:00:00	4.88	0.00	4.88	0.00	4.88	0.00	4.88
26/9/2017	1	16:00:00	4.00	4.88	2.50	4.88	0.003	0.051	0.051
27/9/2017	2	16:00:00	6.00	4.88	3.50	4.88	0.004	0.072	0.092
28/9/2017	3	16:00:00	7.50	4.88	5.00	4.88	0.005	0.102	0.102
29/9/2017	4	16:00:00	8.00	4.88	5.00	4.88	0.005	0.102	0.102

Datos de penetración													
Tiempo min	Penetración n 0.001"	D				E				F			
		Carga lbs	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	CBR %	Carga lbs	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	CBR %	Carga lbs	Presión Corregida lbs/pulg ²	Presión estándar lbs/pulg ²	CBR %
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	25	440.92	145.04			589.65	193.96			586.42	192.90		
1	50	577.61	190.00			892.33	293.53			1071.44	352.45		
1.5	75	637.13	209.58			1018.10	334.90			1521.17	500.39		
2	100	690.04	226.99	1000	22.70	1106.00	363.82	1000	36.38	1929.03	634.55	1000	63.45
3	150	767.20	252.37			1456.00	478.95			2588.20	851.38		
4	200	908.30	298.78	1500	19.92	1768.21	581.65	1500	38.78	3139.35	1032.68	1500	68.85
5	250	1014.12	333.59			-	-			3540.59	1164.67		
6	300	1126.55	370.58			-	-			3800.73	1250.24		
8	400	1265.44	416.26			-	-			3963.87	1303.90		
10	500	1428.58	469.93			-	-			4030.01	1325.66		



Datos de penetración															
Tiempo	Penetración n	G				H				I					
		Carga	Presión	Presión	CBR	Carga	Presión	Presión	CBR	Carga	Presión	Presión	CBR		
min	0.001"	lbs	lbs/pulg ²	lbs/pulg ²	%	lbs	lbs/pulg ²	lbs/pulg ²	%	lbs	lbs/pulg ²	lbs/pulg ²	%	lbs	lbs/pulg ²
0	0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00				
0.5	25	460.76	151.57			658.45	216.60			727.52	239.32				
1	50	608.47	200.15			913.21	300.40			1437.40	472.83				
1.5	75	659.18	216.83			1071.50	352.47			1997.37	657.03				
2	100	707.68	232.79	232.79	23.28	1112.01	365.79	1000	36.58	2222.24	731.00	1000	73.10		
3	150	756.18	248.74			1373.47	451.80			2548.52	838.33				
4	200	804.68	264.70	264.70	17.65	1562.03	513.83	1500	34.26	2824.09	928.98	1500	61.93		
5	250	842.16	277.03			1660.06	546.07			3026.92	995.70				
6	300	941.36	309.66			1815.90	597.34			3216.51	1058.06				
8	400	1053.80	346.64			1958.12	644.12			-	-				
10	500	1071.44	352.45			2203.58	724.86			-	-				



Anexo 6: Determinación de densidades para ensayos DCP.

UNIVERSIDAD DE CUENCA																	
Facultad de Ingeniería																	
Determinación de Densidad Seca																	
Muestra	Molde	Peso Molde (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Vol. Molde (cm ³)	Golp/cap	# de capas	Peso suelo Humedo + molde (gr)	Peso suelo humedo (gr)	Peso suelo seco (gr)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Tarro	Peso tarro (gr)	Peso tarro + suelo humedo (gr)	Peso tarro + suelo seco (gr)	Humedad (%)	Humedad promedio (%)
1	A	8274.00	15.30	17.80	3272.60	10	8	14641.00	6367.00	5581.29	1.705	50	43.51	101.97	94.79	14.00	14.08
												62	44.13	100.91	93.87	14.15	
1	B	8037.00	15.40	17.80	3315.52	25	8	15056.00	7019.00	6152.83	1.856	50	43.51	101.97	94.79	14.00	14.08
												52	44.13	100.91	93.87	14.15	
1	C	8098.00	15.30	17.80	3272.60	56	8	15209.00	7111.00	6187.08	1.891	50	43.51	102.60	94.79	15.23	14.93
												62	44.13	101.15	93.87	14.64	
2	D	7118.00	15.30	17.80	3272.60	10	8	13331.00	6213.00	5468.49	1.671	87	39.51	105.34	97.43	13.66	13.61
												30	38.89	103.24	95.55	13.57	
2	E	8252.00	15.40	17.80	3315.52	25	8	14850.00	6598.00	5814.97	1.754	94	41.58	107.94	100.09	13.42	13.47
												171	50.21	112.28	104.89	13.51	
2	F	7118.00	15.30	17.80	3272.60	56	8	14209.00	7091.00	6232.85	1.905	17	40.42	83.31	78.14	13.71	13.77
												55	41.24	96.55	89.83	13.83	
3	G	7111.00	15.40	17.80	3315.52	10	8	13209.00	6098.00	5364.10	1.618	16	38.91	107.29	99.08	13.64	13.68
												41	40.55	110.18	101.78	13.72	
3	H	7501.00	15.30	17.80	3272.60	25	8	14186.00	6685.00	5890.78	1.800	13	44.45	110.67	102.89	13.31	13.48
												24	41.90	98.51	91.71	13.65	
3	I	7573.00	15.40	17.80	3315.52	56	8	14598.00	7025.00	6197.64	1.869	98	40.9	100.58	93.58	13.29	13.35
												13	39.14	113.64	104.83	13.41	
1	1	7094.00	15.30	17.80	3272.60	10	8	13054.00	5960.00	5292.65	1.617	173	40.05	113.79	105.78	12.19	12.61
												9	45.56	104.80	97.97	13.03	
1	2	7652.00	15.30	17.80	3272.60	25	8	14549.00	6897.00	6052.36	1.849	73	42.74	102.74	95.59	13.53	13.96
												105	43.86	98.1	91.28	14.38	
1	3	7775.00	15.30	17.80	3272.60	56	8	15005.00	7230.00	6343.49	1.938	33	39.35	106.29	98.08	13.98	13.98
												56	47.13	110.76	102.96	13.97	
2	4	7977.00	15.40	17.80	3315.52	10	8	14255.00	6278.00	5531.47	1.668	54	45.85	123.76	114.56	13.39	13.50
												68	43.16	119.41	110.28	13.60	
2	5	7267.00	15.40	17.80	3315.52	25	8	14020.00	6753.00	5866.52	1.769	54	41.92	97.25	90.26	14.46	15.11
												59	38.15	93.16	85.67	15.76	
2	6	8021.00	15.30	17.80	3272.60	56	8	15236.00	7215.00	6340.23	1.937	5	40.5	100.02	92.89	13.61	13.80
												99	46.42	103.23	96.26	13.98	
3	7	7598.00	15.30	17.80	3272.60	10	8	13778.00	6180.00	5532.70	1.691	87	39.49	105.97	98.96	11.79	11.70
												54	45.87	107.58	101.16	11.61	
3	8	7266.00	15.30	17.80	3272.60	25	8	13938.00	6672.00	5968.46	1.824	94	41.56	94.51	88.93	11.78	11.79
												68	43.14	93.94	88.58	11.80	
3	9	7186.00	15.40	17.80	3315.52	56	8	14296.00	7110.00	6350.36	1.915	189	50.57	108.17	102.07	11.84	11.96
												14	39.56	86.88	81.78	12.08	

Anexo 7: Ensayo DCP Sowers S-200.

UNIVERSIDAD DE CUENCA							
Facultad de Ingeniería							
Proyecto:		Determinación de la correlación entre los índices DCP <i>in situ</i> y CBR de laboratorio.					
Ubicación:		Sector Guangarcucho.					
Realizado por:		León Francisco - Zeas Raúl					
Fecha:		5/10/2017					
Ensayo Cono Sowers S-200							
Molde	# de capas	golp/capa	Densidad seca (kg/m ³)	Ensayo	# de golpes	Promedio	CBR
A	8	10	1705.46	1	41	42	20.47
				2	43		
B	8	25	1855.77	1	65	75	42.12
				2	75		
C	8	56	1890.57	1	92	94	49.75
				2	95		
D	8	10	1670.99	1	38	37	17.35
				2	35		
E	8	25	1753.87	1	78	79	28.82
				2	80		
F	8	56	1904.56	1	109	110	53.24
				2	110		
G	8	10	1617.88	1	37	37	13.44
				2	41		
H	8	25	1800.03	1	68	68	32.23
				2	85		
I	8	56	1869.28	1	-	-	-
				2			



Anexo 8: Ensayo DCP Scala.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.

Ubicación: Sector Guangarcucho.

Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl

Fecha: 06/10/2017

Molde: 1

Densidad seca: 1617.26

Kg/m³

CBR: 13.40

%

Ensayo DCP ASTM D 6951-03

# golpes	Lectura (mm)	P. entre lecturas (mm)	Cantidad de golpes	P. acumulada (mm)	Índice DCP
0	574	0	0	0	0
1	583	9	1	9	9
2	591	8	1	17	8
3	600	9	1	26	9
4	608	8	1	34	8
5	618	10	1	44	10
6	626	8	1	52	8
7	635	9	1	61	9
8	645	10	1	71	10
9	655	10	1	81	10
10	665	10	1	91	10
11	677	12	1	103	12
12	689	12	1	115	12
13	703	14	1	129	14
14	712	9	1	138	9
				DCP medio	9.09

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.

Ubicación: Sector Guangarcucho.

Realizado por: Francisco - Zeas Raúl

Fecha: 06/10/2017

Molde: 2

Densidad seca: 1849.41 Kg/m³ **CBR:** 40.85 %

Ensayo DCP ASTM D 6951-03

# golpes	Lectura (mm)	P. entre lecturas (mm)	Cantidad de golpes	P. acumulada (mm)	Índice DCP
0	562	0	0	0	0
1	566	4	1	4	4
2	571	5	1	9	5
3	575	4	1	13	4
4	580	5	1	18	5
5	585	5	1	23	5
6	590	5	1	28	5
7	595	5	1	33	5
8	601	6	1	39	6
9	604	3	1	42	3
10	609	5	1	47	5
11	613	4	1	51	4
12	618	5	1	56	5
13	624	6	1	62	6
14	630	6	1	68	6
15	634	4	1	72	4
16	640	6	1	78	6
17	646	6	1	84	6
18	651	5	1	89	5
19	656	5	1	94	5
20	662	6	1	100	6
21	667	5	1	105	5
22	673	6	1	111	6
23	679	6	1	117	6
24	685	6	1	123	6
25	692	7	1	130	7
26	698	6	1	136	6
27	704	6	1	142	6
28	710	6	1	148	6
29	716	6	1	154	6
				DCP medio	5.63



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.

Ubicación: Sector Guangarcucho.

Realizado por: Francisco - Zeas Raúl

Fecha: 6/10/2017

Molde: 3

Densidad seca: 1938.36 Kg/m³ **CBR:** 62.60 %

Ensayo DCP ASTM D 6951-03

# golpes	Lectura (mm)	P. entre lecturas (mm)	Cantidad de golpes	P. acumulada (mm)	Índice DCP
0	556	0	0	0	0.00
5	575	19	5	19	3.80
10	592	17	5	36	3.40
15	611	19	5	55	3.80
20	631	20	5	75	4.00
25	651	20	5	95	4.00
30	674	23	5	118	4.60
35	699	25	5	143	5.00
				DCP medio	3.80



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.

Ubicación: Sector Guangarcucho.

Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl

Fecha: 06/10/2017

Molde: 4

Densidad seca: 1668.36 Kg/m³ **CBR:** 17.13 %

Ensayo DCP ASTM D 6951-03

# golpes	Lectura (mm)	P. entre lecturas (mm)	Cantidad de golpes	P. acumulada (mm)	Índice DCP
0	568	0	0	0	0
1	577	9	1	9	9
2	580	3	1	12	3
3	588	8	1	20	8
4	595	7	1	27	7
5	600	5	1	32	5
6	608	8	1	40	8
7	616	8	1	48	8
8	621	5	1	53	5
9	629	8	1	61	8
10	638	9	1	70	9
11	646	8	1	78	8
12	654	8	1	86	8
13	662	8	1	94	8
14	669	7	1	101	7
15	676	7	1	108	7
16	686	10	1	118	10
17	693	7	1	125	7
18	701	8	1	133	8
19	709	8	1	141	8
20	715	6	1	147	6
				DCP medio	7.87

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.

Ubicación: Sector Guangarcucho.

Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl

Fecha: 06/10/2017

Molde: 5

Densidad seca: 1769.41 Kg/m³ **CBR:** 27.82 %

Ensayo DCP ASTM D 6951-03

# golpes	Lectura (mm)	P. entre lecturas (mm)	Cantidad de golpes	P. acumulada (mm)	Índice DCP
0	558	0	0	0	0
1	563	5	1	5	5
2	569	6	1	11	6
3	572	3	1	14	3
4	577	5	1	19	5
5	581	4	1	23	4
6	587	6	1	29	6
7	594	7	1	36	7
8	596	2	1	38	2
9	601	5	1	43	5
10	607	6	1	49	6
11	613	6	1	55	6
12	620	7	1	62	7
13	625	5	1	67	5
14	632	7	1	74	7
15	637	5	1	79	5
16	643	6	1	85	6
17	649	6	1	91	6
18	656	7	1	98	7
19	662	6	1	104	6
20	668	6	1	110	6
21	675	7	1	117	7
22	681	6	1	123	6
23	688	7	1	130	7
24	695	7	1	137	7
25	701	6	1	143	6
26	707	6	1	149	6
27	711	4	1	153	4
				DCP medio	6.05



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.

Ubicación: Sector Guangarcucho.

Realizado por: Francisco - Zeas Raúl

Fecha: 6/10/2017

Molde: 6

Densidad seca: 1915.35 Kg/m³ **CBR:** 56.06 %

Ensayo DCP ASTM D 6951-03

# golpes	Lectura (mm)	P. entre lecturas (mm)	Cantidad de golpes	P. acumulada (mm)	Índice DCP
0	555	0	0	0	0.00
5	573	18	5	18	3.60
10	592	19	5	37	3.80
15	611	19	5	56	3.80
20	633	22	5	78	4.40
25	655	22	5	100	4.40
30	682	27	5	127	5.40
35	714	32	5	159	6.40
				DCP medio	4.00

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.

Ubicación: Sector Guangarcucho.

Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl

Fecha: 06/10/2017

Molde: 7

Densidad seca: 1690.61

Kg/m³

CBR:

19.06

%

Ensayo DCP ASTM D 6951-03

# golpes	Lectura (mm)	P. entre lecturas (mm)	Cantidad de golpes	P. acumulada (mm)	Índice DCP
0	595	0	0	0	0
1	603	8	1	8	8
2	610	7	1	15	7
3	616	6	1	21	6
4	622	6	1	27	6
5	629	7	1	34	7
6	634	5	1	39	5
7	640	6	1	45	6
8	645	5	1	50	5
9	651	6	1	56	6
10	656	5	1	61	5
11	662	6	1	67	6
12	668	6	1	73	6
13	674	6	1	79	6
14	679	5	1	84	5
15	685	6	1	90	6
16	691	6	1	96	6
17	697	6	1	102	6
18	703	6	1	108	6
19	709	6	1	114	6
20	714	5	1	119	5
21	720	6	1	125	6
22	726	6	1	131	6
23	732	6	1	137	6
24	737	5	1	142	5
25	740	3	1	145	3
				DCP medio	6.22

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.

Ubicación: Sector Guangarcucho.

Realizado por: León Francisco - Zeas Raúl

Fecha: 06/10/2017

Molde: 8

Densidad seca: 1823.77

Kg/m³

CBR: 36.12

%

Ensayo DCP ASTM D 6951-03

# golpes	Lectura (mm)	P. entre lecturas (mm)	Cantidad de golpes	P. acumulada (mm)	Índice DCP
0	586	0	0	0	0
1	591	5	1	5	5
2	596	5	1	10	5
3	600	4	1	14	4
4	605	5	1	19	5
5	609	4	1	23	4
6	613	4	1	27	4
7	615	2	1	29	2
8	620	5	1	34	5
9	623	3	1	37	3
10	627	4	1	41	4
11	630	3	1	44	3
12	633	3	1	47	3
13	636	3	1	50	3
14	641	5	1	55	5
15	645	4	1	59	4
16	648	3	1	62	3
17	656	8	1	70	8
18	660	4	1	74	4
19	663	3	1	77	3
20	667	4	1	81	4
21	671	4	1	85	4
22	675	4	1	89	4
23	679	4	1	93	4
24	682	3	1	96	3
25	685	3	1	99	3
26	689	4	1	103	4
27	693	4	1	107	4
28	697	4	1	111	4
29	700	3	1	114	3
30	704	4	1	118	4
				DCP medio	3.86



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Proyecto: Determinación de la correlación entre los índices DCP *in situ* y CBR de laboratorio.

Ubicación: Sector Guangarcucho.

Realizado por: Francisco - Zeas Raúl

Fecha: 6/10/2017

Molde: 9

Densidad seca: 1937.37 Kg/m³ **CBR:** 62.31 %

Ensayo DCP ASTM D 6951-03

# golpes	Lectura (mm)	P. entre lecturas (mm)	Cantidad de golpes	P. acumulada (mm)	Índice DCP
0	554	0	0	0	0.00
5	567	13	5	13	2.60
10	579	12	5	25	2.40
15	591	12	5	37	2.40
20	603	12	5	49	2.40
25	614	11	5	60	2.20
30	625	11	5	71	2.20
35	636	11	5	82	2.20
				DCP medio	2.37

ANEXO FOTOGRAFICO

Anexo 1: Extracción de muestras



Anexo 2: Granulometría



Anexo 3: Límites de Atterberg



Anexo 4: Compactación

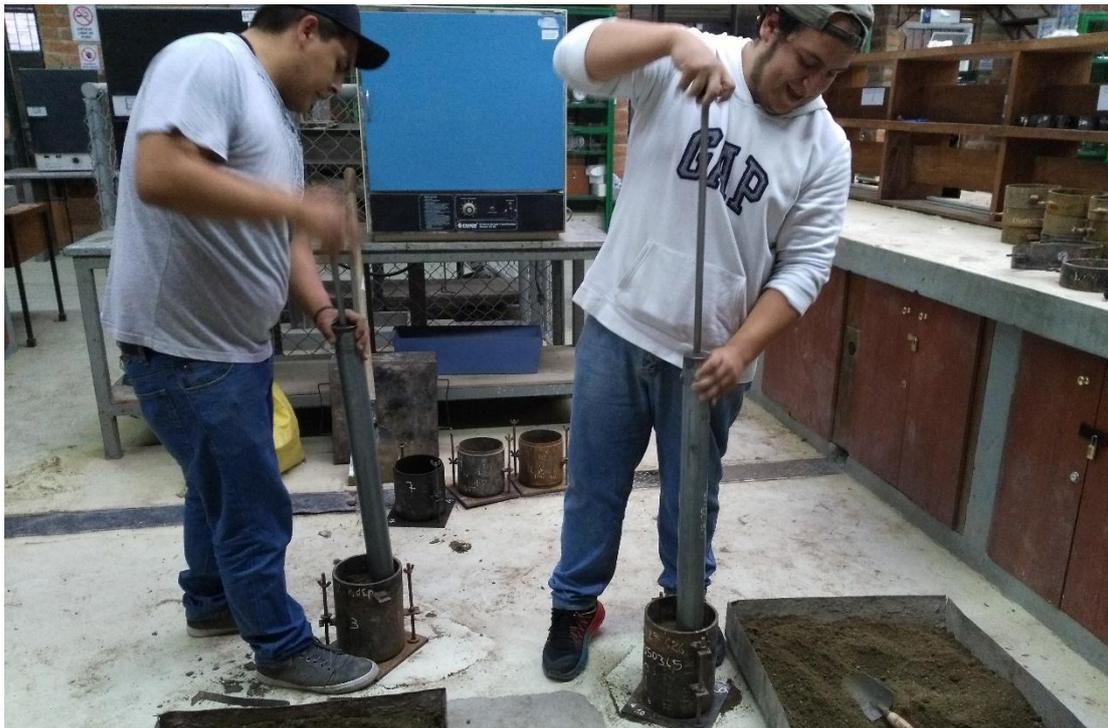


Anexo 5: Ensayo CBR de laboratorio





Anexo 6: Preparación de muestras para el ensayo DCP



Anexo 7: Ensayo DCP Sowers



Anexo 8: Ensayo DCP Scala

