UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN GEOLOGÍA APLICADA Y GEOTÉCNIA

"VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO PROVENIENTE DE LA MINA DE LLATCON COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES."

Tesis previa a la obtención del título de Mágister en Geología Aplicada y Geotécnia

Autor:
Ing. Juan Pablo Carpio Pesántez.

Director:
Ing. Jaime Asdrubal Bojorque Iñeguez.,PhD.

Cuenca - Ecuador
2014

Resumen

En este trabajo se realiza la evaluación geotécnica del material de mejoramiento de la mina de Llatcon, que es utilizado en obras viales como parte de una estructura de pavimento asfáltico. Se establece como parámetro fundamental de la evaluación el CBR del material, basándose en el diseño de pavimentos asfálticos por el método del AASHTO. Para la evaluación en laboratorio se realizan ensayos de CBR y en campo a través del Cono Dinámico de Penetración. Se pretende validar y comprobar el uso de este material, a pesar de no ajustarse a las especificaciones Ecuatorianas, justificando tecnicamente su colocación debido a que el material es utilizado por instituciones del estado como el Gobierno Provincial del Azuay y el Municipio de Cuenca, para servir a la comunidad con obras de mantenimiento y mejoramiento vial. En base a los resultados obtenidos se puede indicar que el material es adecuado para cumplir sus funciones estructurales de acuerdo al método AASHTO por lo que se puede considerar como una alternativa para la construcción de pavimentos en el cantón.

El autor.

Palabras clave: Cono, Dinámico, Penetración, Pavimento, Asfáltico, CBR, Base, Subbase, Mejoramiento, CDP, Plasticidad.

Abstract

This project provides a geotechnical evaluation of the subbase material coming from the Llatcon mine. This material is being used in road works as part of the structure of the asphalt pavement. The key parameter of the evaluation is the CBR of the material, which is based on pavement designs performed by the AASHTO method. The evaluations performed are the CBR, which is conducted in laboratory settings while the evaluation performed in the field is carried using the Dynamic Cone Penetrometer. It is intended to validate and prove the use of this material, even though they don't adhere with Ecuadorian specifications, technically justifying their placement because the material is used by state institutions such as the Government of Azuay and the Municipality of Cuenca to serve community with maintenance and road improvement. Based on the obtained results may indicate that the material is suitable to perform its structural function according to AASHTO method, therefore can be considered as an alternative for the construction of flexible pavements.

The author.

Keywords: Cone, Dynamic, Penetration, Pavement, Asphalt, CBR, Base, Subbase, Improvement, CDP, Plasticity.

Índice General

Resumen 1
Abstract 2
Índice General 3
Índice de figuras. 5
Índice de tablas. 7

1. Introducción **13**
1.1. Antecedentes 13
1.1.1. Historia de la mina y de la vialidad con el mejoramiento proveniente de la mina de Llatcon 14
1.1.2. Geología 15
1.2. Objetivo general 17
1.3. Objetivos específicos 17
1.4. Hipótesis 17

2. Estado del Arte **21**
2.1. Índice de Soporte California CBR (California Bearing Ratio) . . . 21
2.1.1. Preparación de la muestra de acuerdo a la norma AASHTO T 193-13 24
2.1.2. Procedimiento de ensayo 25
2.1.3. Cálculos 28
2.2. Método de Prueba Estándar para el uso del Cono Dinámico de Penetración (DCP) en superficies pavimentadas. 29
2.2.1. Cálculos 31
2.3. Pavimentos, Constitución y Conceptos Generales. 33
2.3.1. Pavimentos Flexibles 35
2.4. El CBR como parámetro estructural en el diseño del pavimento asfáltico. 37
2.4.1. Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles(versión 1993).Ref: [2] 38
2.5. Evaluación estructural del pavimento. 43
2.6. Especificaciones del MTOP para la construcción de caminos y puentes. 45

3. Resultados de laboratorio y campo. 48
3.1. Ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg y Clasificación de Suelos. . . . 48
3.2. Ensayo Proctor Modificado. . . . 49
3.3. Ensayo CBR de laboratorio. . . . 50
3.4. Ensayo DCP de laboratorio. . . . 52
3.5. Ensayo DCP in situ. . . . 53
3.6. Densidades de campo. . . . 59

4. Análisis de resultados. 60
4.1. Análisis de granulometría, límites de Atterberg y proctor modificado. 60
4.2. Análisis de CBR 61
4.3. Análisis del DCP de laboratorio. . . . 62
4.4. Análisis del CDP de campo 64
4.5. Análisis estructural del pavimento 64

5. Conclusiones y Recomendaciones 66
5.1. Conclusiones 66
5.2. Recomendaciones Futuras 69

6. Anexos 70

Bibliografía. 107

Índice de figuras.

1.1. Geología de la mina de Llatcon 19
1.2. Mapa Base del área de influencia de la mina de Llatcon 20

2.1. Aparáto CBR: Ref[9] : En la figura se presenta cada una de las partes del molde CBR y sus accesorios, además de una tabla de las dimensiones de cada uno de los elementos. 23
2.2. Dispositivo de carga: En la figura se muestra el dispositivo de carga para CBR del laboratorio del Gobierno Provincial del Azuay. El ring o anillo de carga posee una ecuación específica que relaciona la penetración con el esfuerzo. 24
2.3. Tanque de remojo CBR : En la figura se muestra cuatro moldes en remojo en el momento de medición del hinchamiento, en el laboratorio del Gobierno Provincial del Azuay. 25
2.4. Cono Dinámico de Penetración: Ref:[10] 30
2.5. Punta reutilizable DCP: Ref:[10] : En la figura se muestra la punta reutilizable, sus dimensiones y el lugar de inicio de la penetración. 31
2.6. Punta Desechable DCP: Ref:[10] : En la figura se muestra la punta desechable, su acoplamiento, dimensiones y el lugar de inicio de la penetración. 31
2.7. Ecuaciones de correlación desarrolladas a nivel mundial. 33
2.8. Ejemplo de curva DCP desarrollada por TRL para una estructura asfáltica. Ref:[11] pag.71 34
2.9. Cono Dinámico de Penetración DCP: En la foto se muestra el equipo DCP del Gobierno Provincial del Azuay. 35
2.10. Sección típica de un pavimento flexible. 36
2.11. Gráfica para hallar a en función del módulo resiliente del concreto asfáltico. Ref:[1]pag.122 41
2.12. Variación del coeficiente a con diferentes parámetros de resistencia de la subbase. Ref:[1]pag.127 42

3.1. Curva esfuerzo - deformación muestra sumergida. Ref:Anexos.tabla 6.13 50
3.2. CBR general muestra sumergida. Ref:Anexos.tabla 6.13 51

3.3. Curva esfuerzo deformación muestra sin sumergir. Ref:Anexos.tabla 6.17 51
3.4. CBR general muestra sin sumergir. Ref:Anexos.tabla 6.17 52
3.5. Curva DCP 100 %DSM-56G. Ref:Anexos.tabla 6.28 52
3.6. Curva DCP 98 %DSM-25G. Ref:Anexos.tabla 6.29 53
3.7. Curva DCP 92 %DSM-12G. Ref:Anexos.tabla 6.30 53
3.8. Curva DCP abscisa 0+000. Ref:Anexos.tabla 6.18 54
3.9. Curva DCP abscisa 0+100. Ref:Anexos.tabla 6.19 54
3.10. Curva DCP abscisa 0+200. Ref:Anexos.tabla 6.20 55
3.11. Curva DCP abscisa 0+300. Ref:Anexos.tabla 6.21 55
3.12. Curva DCP abscisa 0+400. Ref:Anexos.tabla 6.22 56
3.13. Curva DCP abscisa 0+500. Ref:Anexos.tabla 6.23 56
3.14. Curva DCP abscisa 0+600. Ref:Anexos.tabla 6.24 57
3.15. Curva DCP abscisa 0+700. Ref:Anexos.tabla 6.25 57
3.16. Curva DCP abscisa 0+800. Ref:Anexos.tabla 6.26 58
3.17. Curva DCP abscisa 0+900. Ref:Anexos.tabla 6.27 58

4.1. Correlaciones CBR vs DCP index: En la figura se presenta las ecuaciones de correlación del CBR en función del índice de penetración en mm/golpe. 63

5.1. Diagrama de valoración del CBR in situ de forma indirecta por medio del Cono Dinámico de Penetración. 67

6.1. Grupo de muestras seleccionadas en fundas para ensayos CBR y DCP. 103
6.2. Elaboración de moldes CBR con material de la mina de Llatcon. . 104
6.3. Aplicación de carga dentro del ensayo CBR. 105
6.4. Ensayo DCP de laboratorio en el material de la mina de Llatcon. 106

Índice de tablas.

2.1. Niveles de confiabilidad. Ref:[1]pag.119 39
2.2. Calidad de drenaje. Ref:[1]pag.123 43
2.3. Valores de mi recomendados para modificar capas de base y subbase granulares. Ref:[1]pag.128 43

3.1. Granulometría. Ref:Anexos.tabla 6.1 48
3.2. Límites de Atterberg. Ref:Anexos.tabla 6.2 49
3.3. Clasificación de suelos. Ref:Anexos.tabla 6.3 49
3.4. Proctor Modificado. Ref:Anexos.tabla 6.4 50
3.5. Densidades de campo. Ref:Anexos.tabla 6.5 - 6.6 59

4.1. Densidades de campo: En la tabla se presentan los resultados obtenidos con el densímetro nuclear del Gobierno provincial del Azuay y la comparación de los mismos con respecto a la especificación vigente 61
4.2. Índice DCP. Ref:Anexos.tabla 6.28 - 6.30 62
4.3. Valores de CBR en función de algunas ecuaciones desarrolladas a nivel mundial. 63
4.4. Registro del índice DCP por abscisa en la vía Señor de Burgos. Ref:Anexos.tabla 6.18 - 6.27 64
4.5. Parámetros de diseño según el método AASHTO 65

6.1. Granulometría del material de mejoramiento de la mina de Llatcon 71
6.2. Límites de Atterberg del material de mejoramiento de la mina de Llatcon 72
6.3. Clasificación del material de la mina de Llatcon de acuerdo al SUCS y AASHTO 73
6.4. Proctor modificado del material de mejoramiento de la mina de Llatcon 74
6.5. Densidades de campo de la vía Señor de Burgos 75
6.6. Densidades de campo de la vía Señor de Burgos 76
6.7. CBR laboratorio sumergido 56 golpes 77
6.8. CBR laboratorio sumergido 56 golpes 78
6.9. CBR laboratorio sumergido 25 golpes 79

6.10. CBR laboratorio sumergido 25 golpes 80
6.11. CBR laboratorio sumergido 12 golpes 81
6.12. CBR laboratorio sumergido 12 golpes 82
6.13. Ensayo CBR laboratorio sumergido general 83
6.14. CBR laboratorio no sumergido 56 golpes 84
6.15. CBR laboratorio no sumergido 25 golpes 85
6.16. CBR laboratorio no sumergido 12 golpes 86
6.17. Ensayo CBR laboratorio no sumergido general 87
6.18. DCP in situ 0+000 vía Señor de Burgos 88
6.19. DCP in situ 0+000 vía Señor de Burgos. 89
6.20. DCP in situ 0+200 vía Señor de Burgos 90
6.21. DCP in situ 0+300 vía Señor de Burgos 91
6.22. DCP in situ 0+400 vía Señor de Burgos 92
6.23. DCP in situ 0+500 vía Señor de Burgos 93
6.24. DCP in situ 0+600 vía Señor de Burgos 94
6.25. DCP in situ 0+700 vía Señor de Burgos 95
6.26. DCP in situ 0+800 vía Señor de Burgos 96
6.27. DCP in situ 0+900 vía Señor de Burgos 97
6.28. DCP laboratorio 100 %DSM - 56 golpes 98
6.29. DCP laboratorio 98 %DSM - 25 golpes 99
6.30. DCP laboratorio 92 %DSM - 12 golpes 100
6.31. Diseño de pavimento flexible por el método del AASHTO 101
6.32. Estudio de tráfico realizado por el Gobierno Provincial del Azuay para la pavimentación flexible de la vía Señor de Burgos, parroquia Ricaurte, Programa Nuestra Vía 102

Yo, Juan Pablo Carpio Pesántez, autor de la tesis "VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO PROVENIENTE DE LA MINA DE LLATCON COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Mágister en Geología Aplicada y Geotécnia . El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 24 de Julio de 2014



Juan Pablo Carpio Pesántez
0102800562

Yo, Juan Pablo Carpio Pesántez, autor de la tesis "VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL MATERIAL DE MEJORAMIENTO PROVENIENTE DE LA MINA DE LLATCON COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 24 de Julio de 2014



Juan Pablo Carpio Pesántez
0102800562

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado las dos preciosas mujeres de mi hogar, mi esposa Verónica y mi hija Amelia, quienes han comprometido todo su esfuerzo para aceptar la distancia generada durante la realización de este estudio, y quienes también han sido las que han recibido mis frustraciones y alegrias, y siempre me han brindando en todo momento, el ánimo necesario para llegar a un final feliz.

El Autor.

Agradecimientos

Por ser el origen de todos los éxitos alcanzados en mi vida, para mi madre Aida Judiht va el agradecimiento principal, por los pasos seguros que he dado de su mano en tiempos fáciles, y también en los difíciles.
Y a mi hermana Tatiana un abrazo interminable de gratitud, por haber sido quien me manifestó en todo momento palabras cariñosas de aliento, apostando con sus ojos cerrados para que pueda cumplir todos mis éxitos profesionales, ya que sin su apoyo todo sería solo un sueño.

El Autor.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

El Gobierno Provincial del Azuay, tiene a su cargo a través del COOTAD (Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomía y Descentralización) Ref: [7] , la competencia exclusiva en toda la red rural de la provincia del Azuay, que alcanza un inventario vial de alrededor de 4000 km de vías. Dentro de estas competencias se desarrollan los programas de Mantenimiento Vial, Mejoramiento Vial, Construcción Vial y Puentes.

En lo correspondiente a las actividades viales se desarrollan con material de mejoramiento existente en las zonas de la provincia en las que se ejecuten estas actividades, pero particularmente en la zona del cantón Cuenca, el Gobierno Provincial del Azuay declaró el uso del material existente en Llatcon. Debido a las características de las minas y materiales existentes en el cantón Cuenca, es muy difícil encontrar materiales que se ajusten a las *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes* planteadas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Ref.[14]. Sin embargo, a lo largo de algunos años se ha venido trabajando con materiales como el de la mina de Llatcon que a pesar de no ajustarse a los requerimientos correspondientes, ha representado una solución exitosa para los diferentes trabajos viales y de puentes.

1.1.1. Historia de la mina y de la vialidad con el mejoramiento proveniente de la mina de Llatcon

La mina de Llatcon está ubicada en el Cantón Cuenca, en la parroquia Nulti de la Provincia del Azuay. El principal acceso es por la vía Huangarcucho - Jadán en el kilómetro 3, a partir del cual se deben recorrer 3 kilómetros para llegar a ella. Actualmente se explota para fines viales principalmente, con un volúmen aproximado de 7500 metros cúbicos mensuales. Es la mina de la cual se ha obtenido material tipo lastre para mantenimiento vial de toda la red vial existente en las parroquias urbanas y rurales del cantón Cuenca, como Ricaurte, Sidcay, Octavio Cordero Palacios, Sayausi, San Joaquín, El Valle, Tarqui, Victoria del Portete, Turi, Llacao, y las vías de la zona urbana de Cuenca. Sus características corresponden a las de un material granular, proveniente de un macizo rocoso metamórfico de origen sedimentario. Por las características antes mencionadas y complementadas con un adecuado proceso de construcción más pasos de agua y cunetas habilitadas en un adecuado funcionamiento, este material permite garantizar una solución a las necesidades de las comunidades rurales de competencia del Gobierno Provincial del Azuay. Con el material de mejoramiento de esta mina se ha realizado ultimamente el mejoramiento vial con terminado asfáltico de las siguientes vías:

- El Descanso - Huachún, 2.50 km, parroquia San Cristóbal, cantón Paute.
- Quebrada Chocar - San Cristóbal, 4.30 km, parroquia San Cristóbal, cantón Paute.
- Huangarcucho - Vegaspamba, 8.00 km, parroquia Jadán, cantón Gualaceo.
- 4 Esquinas - Gran Poder, 0.65 km, parroquia Ricaurte, cantón Cuenca.
- Calle El Ejecutivo, 0.35 km, parroquia Ricaurte, cantón Cuenca.
- Calle Señor de Burgos, 0.95 km, parroquia Ricaurte, cantón Cuenca.
- Calles del barrio La Paz, 0.45 km, parroquia Ricaurte, cantón Cuenca.
- Calle Vicente Pacheco, 0.20 km, parroquia Ricaurte, cantón Cuenca.

- Zhucay - Tutupali, 4.00 km, parroquia Victoria del Portete, cantón Cuenca.
- Calles centrales de Sinincay etapa I y II, 2.00 km, parroquia Sinincay, cantón Cuenca.
- Barrio Primero - Escuela Catalina Guerrero, 2.10 km, parroquia El Valle, cantón Cuenca.
- Calles centrales de Tarqui, 3.00 km, parroquia Tarqui, cantón Cuenca.
- Calles centrales de Paccha, 0.70 km, parroquia Paccha, cantón Cuenca.

1.1.2. Geología

Según información contenida en las cartas de Cuenca, Azogues y Cañar del Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos y de la Dirección General de Geología y Minas (1980) a escala 1:100000, las formaciones geológicas principales existentes en el área minera, de acuerdo a la Figura 1.1 son; Azogues, Loyola y Yunguilla, las mismas que van a ser detalladas a continuación:

En la figura 1.2 se expone la toponimia del área de influencia de la mina de Llatcon, en la cual se incluye la ubicación, los principales accesos viales, poblaciones cercanas y otros detalles.

Formación Azogues (Terciario-Mioceno Medio) ref:[6] pag.162-166

La formación Azogues está bien desarrollada en el centro de la cuenca sedimentaria, aflorando en los dos flacos del anticlinal de Biblián. Se extiende en sentido norte-sur, desde las vecindades de la ciudad de Azogues y oeste del poblado de Cojitambo, hacia el sur y suroeste, hasta cerca del poblado de El Valle, donde está cubierta inconformablemente por la unidad cuaternaria Turi. Cerca de Cuenca, en el sector de Ucubamba y Chaullabamba de la parroquia Nulti, ocurren potentes afloramientos de la Arenisca de Azogues, que se pueden observar en el costado occidental de la vía Cuenca - Azogues. Tanto en el flanco oriental como el occidental del gran anticlinal de Biblián ocurre la formación Azogues, que atendiendo a su mayor resistencia a la erosión, mantiene una morfología de colinas escarpadas, fácilmente detectables en el centro de la cuenca sedimentaria. Su litología presenta secuencias dominadas por areniscas tobáceas intemperizadas, de color café, de tamaño de grano medio a grueso, con presencia de capas

de limolitas, arcillas y lutitas, generalmente no mayores a 1 metro de potencia, en la base de esta unidad. Las capas superiores de la formación Azogues, que afloran en el sinclinal, al oriente del poblado de Paccha, consisten en aglomerados volcánicos con fragmentos de pumitas. Las limolitas y arcillas, son generalmente de color blanco o amarillo, muy pálido. El espesor máximo que se estima de esta formación, es de 280 metros, en las vecindades de El Tablón, 4 kilómetros al oriente de la ciudad de Cuenca.

Formación Loyola (Terciario-Mioceno Inferior) ref:[6] pag.162

Aflora tanto en el flanco oriental como occidental del Sinclinal de Azogues y se extiende desde el norte del poblado de Biblián, donde aparce en contacto fallado con la formación Mangán, hacia el sur y suroeste de la ciudad de Cuenca, donde aparece debajo de la formación Turi. La formación está constituída por lutitas fisibles de color gris obscuro y lutitas limolíticas, cubiertas de polvo limonítico color crema amarillento. Localmente ocurren lentes de calizas, junto con capas de areniscas finas. Abundante yeso (selenita), satura pequeñas fracturas presentes en la roca meteorizada. La potencia de esta unidad es de aproximadamente 360 metros como máximo.

Formación Yunguilla (Maestrichtiano - Cretáceo Superior) ref:[6] pag.158

Aflora por más de 80 kilómetros en sentido norte - sur, a lo largo del flanco oriental de la cuenca Azuay - Cañar, desde el poblado de Cumbe, al sur, hasta la ciudad de Cañar, al norte. Basado en el hallazgo realizado por el Ingeniero Marco Tulio Erazo, profesor investigador de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca, de un fragmento rodado perteneciente a la formación Yunguilla, ubicado al suroeste de Baños de Cuenca, en la formación cuaternaria Turi, se la dató a la formación Yunguilla dentro del Cretáceo Superior. La litología dominante de esta unidad se caracteriza por argilitas de color gris oscuro o negras, bien estratificadas, que tienden a transformarse en lutitas negras. En varios niveles, las rocas son silificadas, siendo común el pedernal de color gris. Las lutitas, frecuentemente contienen mica pequeña y ocasionalmente pirita. Carbonatos, tanto de calcio como de magnesio, aparecen en la secuencia, constituyendo calizas grises obscuras de grano fino, en lentes o nódulos.

1.2. Objetivo general

- Establecer un procedimiento a través del uso del Cono Dinámico de Penetración, mediante el cual se pueda demostrar que el material de la mina de Llatcon (o cualquier material), cumple con el CBR que necesita para formar parte de la estructura de un pavimento asfáltico.

1.3. Objetivos específicos

- Demostrar que el material de la mina de Llatcon, a pesar de que no cumple con todas las especificaciones para los materiales de construcción vigentes para los caminos en el Ecuador, puede ser utilizado por el CBR que posee.
- Establecer la curva de correlación que vincula los ensayos CBR y DCP en laboratorio.
- Determinar el índice DCP(mm/golpe) para garantizar que se obtenga el CBR de diseño en las condiciones más desfavorables.
- Obtener, a través del uso del Cono Dinámico de Penetración en el campo, los valores del índice DCP, los mismos que deberán ser menores o iguales al índice DCP obtenido en laboratorio.
- Proponer una estructura asfáltica con el uso del material de la mina de Llatcon.
- Establecer una categoría o subcategoria para que el material de la mina de Llatcon sea considerado como material de construcción de caminos en el Ecuador, sugiriendo su inclusión en la normativa vigente.
- Demostrar que con el Cono Dinámico de Penetración se puede realizar la evaluación de una estructura de pavimento de forma ecónomica y con destrucción mínima.

1.4. Hipótesis

- Los límites de Atterberg del material de la mina de Llatcon no cumplen con las especificaciones del MTOP para la construccón de caminos en el

Ecuador.

- A pesar de que el material de la mina de Llatcon no cumple con el límite líquido y el índice de plasticidad señalados en la normaviva MTOP, puede ser considerado como Material de Mejoramiento de la Subrasante con Suelo Seleccionado, porque su CBR después de la saturacíon es mayor al 10 %.
- Las deformaciones o inchamiento en las muestras del material luego de la saturación son menores al 0,5 %, por lo que no se van a presentar deformaciones mayores en presencia de agua.
- Considerando únicamente el CBR del material de la mina de Llatcon, en las condiciones más desfavorables de humedad y bajo la suposición de que las deformaciones en presencia de agua son mínimas, se puede diseñar una estructura de pavimento con capa de rodadura asfáltica por el método AASHTO 1993, según el cual no se tiene requisitos específicos con respecto a la calidad del material, resultando aceptable cualquier material convencional cuyas propiedades mecánicas reflejen un coeficiente de capa de acuerdo a su CBR.
- Utilizando el Cono Dinámico de Penetración en laboratorio, en muestras del material de la mina de Llatcon con distintas densidades o calidades de compactación, se puede establecer correlaciones para verificar el CBR in situ.
- El Cono Dinámico de Penetración sirve para evaluación de la estructura de un pavimento.

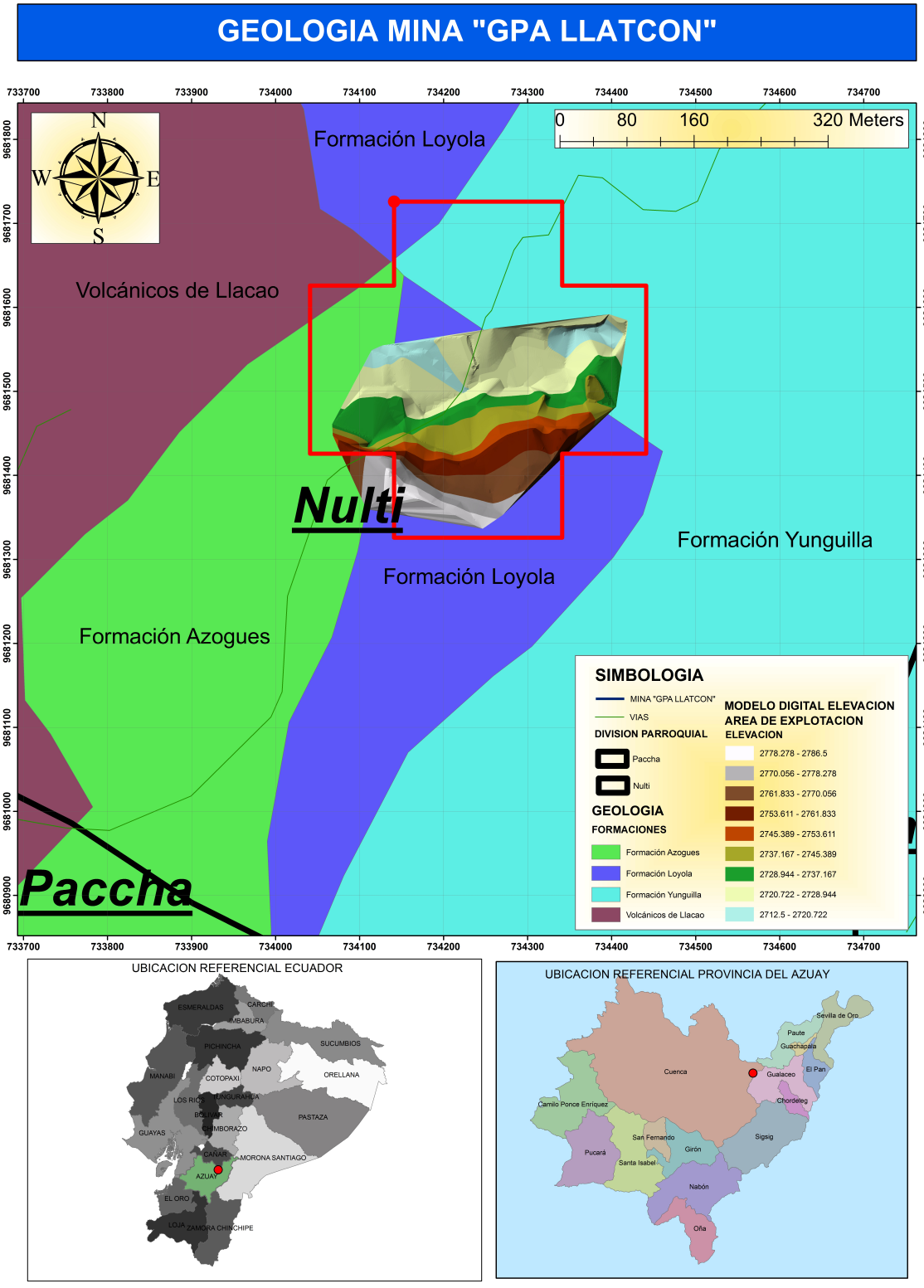


Figura 1.1: Geología de la mina de Llatcon

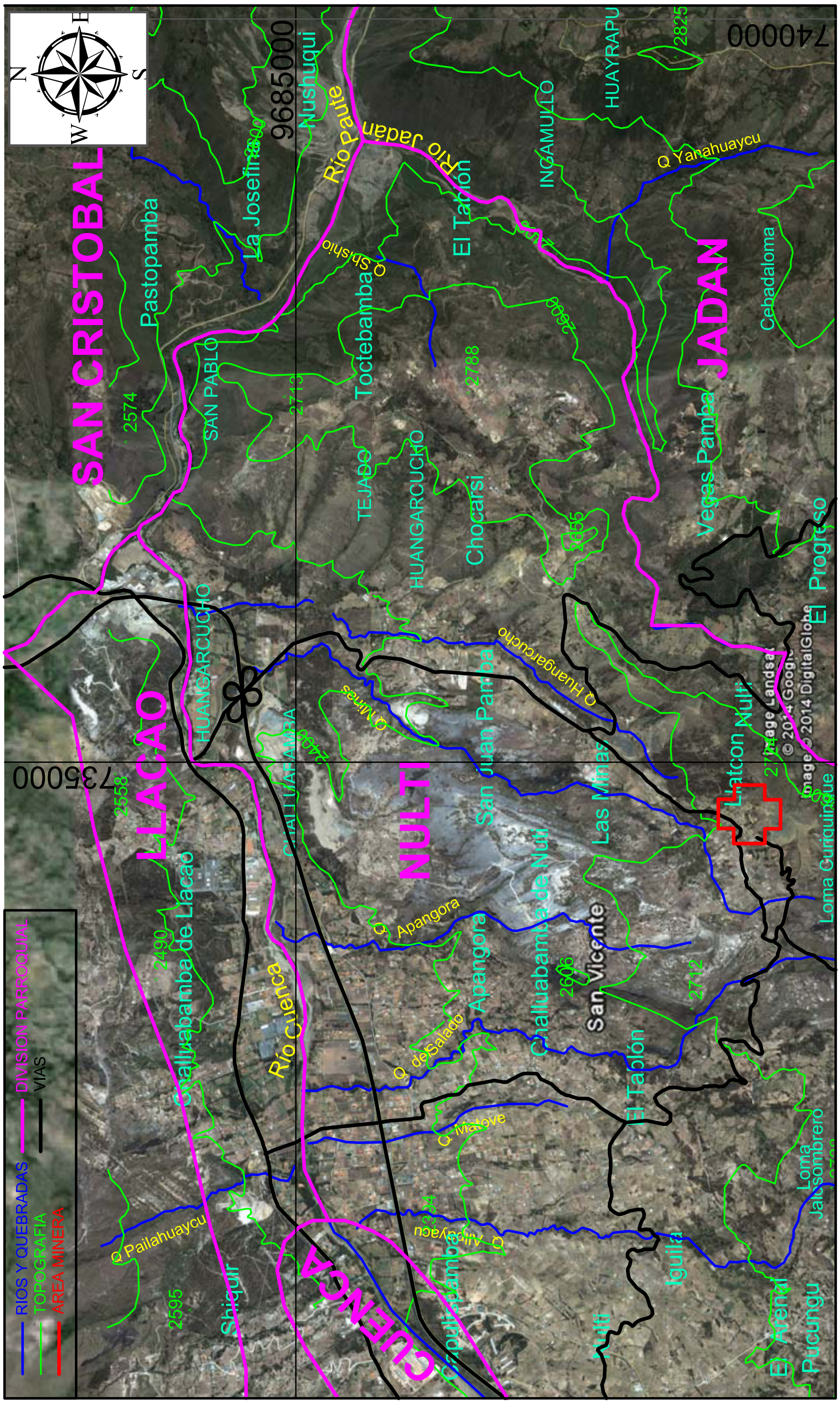


Figura 1.2: Mapa Base del área de influencia de la mina de Llatcon

Capítulo 2

Estado del Arte

2.1. Índice de Soporte California CBR (California Bearing Ratio)

Este ensayo permite establecer el Índice de Soporte California (CBR) de la subrasante, subbase o base, de muestras elaboradas en laboratorio o ensayadas en campo. Este ensayo evalúa la resistencia de suelos que tienen un diámetro máximo de 3/4 de pulgada. ***Standard Method of Test for The California Bearing Ratio AASHTO Designation:T 193-13.*** Ref.[9]
Todo el material o la muestra del material debe tener un diámetro menor o igual a 3/4 de pulgada, de lo contrario el método de prueba contempla una modificación en la graduación del mismo.
Esta forma de preparación de la muestra previa al ensayo, ha sido usado para evitar errores que pueden ocurrir en la aplicación de la carga por interferencia directa de material muy grueso en el momento de la penetración, lo que desemboca en resultados inaceptables. De todas formas, a pesar de que la muestra ensayada en laboratorio puede diferir por habérsele retirado la fracción gruesa superior a los 3/4 de pulgada, esto puede considerarse como un factor de seguridad adicional. Si se realizara un grupo de ensayos con partículas de diámetros superiores a los 3/4 de pulgada, habría mucha variación en los resultados del CBR, debido a la ubicación de las partículas gruesas. El ensayo CBR se realiza en una muestra en la cual se ha obtenido la húmedad óptima y la densidad seca máxima en un ensayo de compactación previo conocido como Proctor Modificado. A menos que el solicitante del ensayo CBR no disponga lo contrario, toda muestra deberá ser

sumergida en agua previamente al proceso de penetración, lo cual sometería a la muestra a las condiciones más desfavorables. Este ensayo es usado para evaluar la resistencia que tienen las partes de una estructura multicapa, ya sea la subrasante, subbase, base o materiales reciclados reconformados y compactados, con aditivos o sin ellos, que se usen principalmente en carreteras o aeropuertos. El valor del CBR obtenido mediante este ensayo es imprescindible en la mayoría de métodos de diseño de pavimentos flexibles. Para la preparación de muestras con materiales cementantes, deben realizarse investigaciones geotécnicas específicas, las mismas que puede establecer los mejores resultados de acuerdo a sus progresos en el tiempo y en las condiciones de humedad.

El ensayo CBR requiere de los siguientes elementos, para completar la prueba, los mismos que están normados en la especificación ***AASHTO Designation: T193-13 Standard Method of Test for The California Bearing Ratio***:

- Molde, el mismo que debe ser de área cilíndrica, hecho de metal, con un diámetro interno de 152,40 mm ± 0.66 mm y una altura de 177.80 mm ± 0.46 mm, provisto con una extensión tipo collarín de altura de 50 mm aproximadamente. El molde debe poseer una base perforada ajustable con el collarín. Para obtener una curva que permita identificar claramente los valores del CBR en función del procentaje de compactación, se recomienda tener tres moldes para este ensayo.

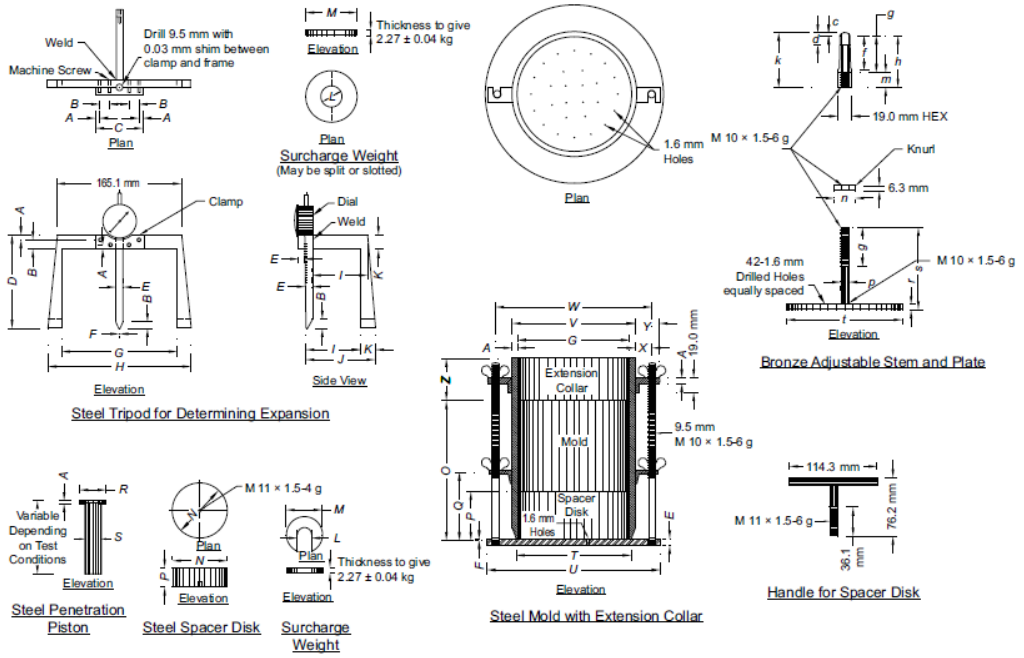
- Disco espaciador, hecho de metal de 150.80 mm ± 0.8mm de diámetro y de 61.37 mm ± 0.25 mm de alto.

- Martillo, que debe ser el mismo con el cual se haya realizado el Proctor Modificado, para la obtención de la densidad seca máxima y la humedad óptima.

- Aparato para la medición de la expansión o hinchamiento, el cual consiste en una placa de hinchamiento con un vástago ajustable y un trípode que soporta un deformímetro. La placa de hinchamiento debe ser de metal de 149,20 mm ± 1.6 mm de diámetro y perforada con huecos de 1.6 mm de diámetro. El trípode que se usa para sujetar el deformímetro unicamente se asienta en el collarín del molde.

- Deformímetros, uno para medir el hinchamiento y otro para medir la deformación en el momento de aplicación de la carga.

- Pesas de sobrecarga de metal, una de forma anular con un orificio en el centro de aproximadamente 54 mm de diámetro y otra con un orificio central, ambos con un diámetro de 149,20 mm ± 1.6 mm y con una masa 2.27 kg ± 0,04 kg.



	TRIPOD FOR DETERMINING EXPANSION											SURCHARGE		SPACER DISC	
MATERIAL	STEEL **													STEEL **	
DIMENSION	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L*	M*	N*	P
METRIC, mm	6.3	12.7	63.5	120.6	9.5	1.6	152.4	190.5	76.2	95.2	19.0	54.0	149.2	150.8	61.37
TOLERANCE, mm													1.6	0.8	0.25
ENGLISH, in.	¼	½	2½	4¾	⅜	1/16	6	7½	3	3¾	¾	2⅛	5⅞	5 19/32	2.416
TOLERANCE, in.													1/16	1/32	0.01
	MOLD WITH EXTENSION COLLAR													PISTON	
MATERIAL	STEEL**													STEEL**	
DIMENSION	A	E	F	G*	O	P	Q	T*	U***	V*	W	X	Y	Z	A	R	S*
METRIC, mm	6.3	9.5	1.6	152.40	177.80	61.37	88.9	158.0	238.1	165.1	212.7	23.8	33.3	50.8	6.3	69.8	49.63
TOLERANCE, mm				0.66	0.46	0.25											0.13
ENGLISH, in.	¼	⅜	1/16	6	7	2.416	3½	6 7/32	9⅜	6½	8⅜	15/16	1⅜	2	¼	2¾	1.954
TOLERANCE, in.				0.026	0.018	0.01											0.005
	ADJUSTABLE STEM AND PLATE																
MATERIAL	BRONZE																
DIMENSION			c	d	e*	f	g	h	k	m	n*	p*	r	s	t		
METRIC, mm			5.6	11.9	3.2	46.04	50.8	69.8	75.4	19.0	28.6	9.5	6.3	107.9	149.2		
TOLERANCE, mm															1.6		
ENGLISH, in.			1/32	15/32	⅛	1 13/16	2	2¾	2 31/32	¾	1⅛	⅜	¼	4¼	5⅞		
TOLERANCE, in.															1/16		

Figura 2.1: Aparáto CBR: Ref[9] : En la figura se presenta cada una de las partes del molde CBR y sus accesorios, además de una tabla de las dimensiones de cada uno de los elementos.

- Pistón de penetración metálico, de sección circular de 49.63mm ± 0.13 mm de área = 1935 mm^2 y no menos de 102 mm de longitud.

- Dispositivo de carga, que debe ser un aparáto de compresión capaz de apli-

car incrementos de carga uniformes en la muestra a una velocidad de 1.3 mm/min.



Figura 2.2: Dispositivo de carga: En la figura se muestra el dispositivo de carga para CBR del laboratorio del Gobierno Provincial del Azuay. El ring o anillo de carga posee una ecuación específica que relaciona la penetración con el esfuerzo.

- Tanque de remojo, en el que se debe matener las muestras con un nivel de agua de 25 mm sobre la cima de la misma.
- Horno de secado, con control de temperatura capaz de matener a 110±5C para secado de muestras húmedas.
- Tarros para muestras húmedas.
- Herramientas varias como tazones de mezclado, cucharas, reglas, papel filtro, balanza, etc.

2.1.1. Preparación de la muestra de acuerdo a la norma AASHTO T 193-13

La muestra deberá ser elaborada de acuerdo al proceso de compactación que fue utilizado para obtener la densidad seca máxima en un molde de 152.4 mm



Figura 2.3: Tanque de remojo CBR : En la figura se muestra cuatro moldes en remojo en el momento de medición del hinchamiento, en el laboratorio del Gobierno Provincial del Azuay.

de diámetro. Si todo el material pasa el tamiz 3/4 de pulgada, la graduación del material puede ser usada directamente para preparar la muestra y compactarla sin modificación. Si hay material retenido en el tamiz 3/4 de pulgada, este material deberá ser reemplazado en igual cantidad por material pasante el tamiz de 3/4 de pulgada y retenido en el tamiz #4, para lo que se debe contar con una cantidad adicional del mismo material pero intacto, es decir no sobrantes.

Con las condiciones antes mencionadas y teniendo el contenido de agua óptimo, se preparan fundas de 7 kg para cada molde.

2.1.2. Procedimiento de ensayo

El procedimiento del ensayo tiene tres etapas:

1. Etapa de elaboración de los moldes.
2. Etapa de remojo.
3. Etapa de penetración.

Etapa de elaboración de los moldes

Se preparan tres moldes con 12, 25 y 56 golpes en 5 capas respectivamente, utilizando el martillo del Proctor Modificado. Algunos laboratorios prefieren

probar un solo ejemplar que se compacta en 5 capas, con 56 golpes por capa, normado en el ensayo Proctor Modificado, pero para permitir a los diseñadores establecer el CBR de acuerdo a sus necesidades se realizan tres moldes.

Se sujeta el molde a la placa base, se coloca el collarín y se pesa con precisión de 5 g más cercano. Se inserta el disco separador en el molde y se coloca un papel de filtro grueso en la parte superior del disco.

Se realiza la mezcla de cada una de las fundas de 7 kg preparada con agua suficiente para obtener el contenido de humedad óptimo.

Al compactar las muestras del suelo en el molde, se utilizan cinco capas iguales con 12, 25 y 56 golpes, respectivamente, para dar una altura total compactada de alrededor de 125 mm.

Se debe determinar el contenido de humedad del material que está siendo compactado al principio y al final del procedimiento de compactación (dos muestras). Cada muestra de humedad tendrá una masa de al menos 100 g para suelos de grano fino y 500 g para suelos de grano grueso.

Se retira el collarín, y usando una regla, se conforma el suelo compactado con la parte superior del molde. Las irregularidades de la superficie deben ser parchadas con material de tamaño pequeño. Al retirar el disco espaciador, se coloca un filtro de papel grueso en la placa base perforada, se invierte el molde con el suelo compactado, y se coloca un papel de filtro por lo que el suelo compactado queda en contacto con el papel de filtro. Se sujeta la placa base perforada con el molde y se coloca el collarín. Para finalizar se determina el peso del molde con la muestra, con una precisión de 5 g.

Etapa de remojo

Se coloca la placa de medición del hinchamiento de vástago ajustable en la muestra de suelo en el molde y se aplica suficientes pesos anulares para producir una intensidad de carga igual a la masa de la sub-base, las capas de base y de la capa de rodadura. La masa total debe tener un mínimo de 4,54 kg. Se añade la masa adicional en incrementos de 2.26 kg.

Se coloca el trípode con el indicador de cuadrante en la parte superior del molde y se encera la lectura para proceder al remojo.

Se sumerje el molde en agua para permitir el libre acceso de la misma al inicio y al final de la muestra. Durante el remojo es necesario mantener el nivel de

agua en el molde aproximadamente 25 mm por encima de la parte superior de la muestra, y remojar la muestra por 96 horas (4 días) .

Un período de inmersión más corto, que no puede ser menor de 24 horas, se puede considerar para materiales que drenan fácilmente, si el ensayo demuestra que el período más corto no afecta a los resultados de la prueba. Para algunos suelos de arcilla , puede ser necesario un período de remojo mayor que 4 días. Se deben registrar los hinchamientos parciales cada 24 horas.

Al final de las 96 horas, se hace una lectura final sobre las muestras remojadas y se calcula el porcentaje de hinchamiento con respecto a la altura inicial de la muestra, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\%\ \text{hinchamiento} = \frac{\text{hinchamiento en milímetros}}{\text{altura inicial de la muestra en milímetros}} * 100 \qquad (2.1)$$

Se retira las muestras del tanque de remojo, se derrama el agua de la parte superior y se deja escurrir hacia abajo durante 15 minutos. Se debe tener cuidado de no molestar la superficie de las muestras durante la extracción del agua. Después del drenaje, se retira los pesos, placas perforadas y papel de filtro superior. El peso de las muestras se puede determinar después de drenar cuando se desea determinar la densidad húmeda promedio del material empapado y drenado.

Etapa de penetración

En la etapa de penetración se coloca la pesa con orificio central en el molde y luego se asienta el pistón de penetración con una carga de no más de 44 N (10 libras). Después de asentar el pistón de penetración, se coloca el resto de los pesos alrededor del pistón. La cantidad total de pesos de suplemento debe ser igual al peso utilizado durante el remojo. En este instante se encera el indicador de penetración y el indicador de carga.

La aplicación de la carga por medio del pistón de penetración se realiza a una tasa uniforme de 1,3 mm/min. Se debe registrar la carga cuando la penetración ha alcanzado las siguientes deformaciones en altura: (0.025-0.050-0.075-0.1-0.15-0.2 y 0.3 pulgadas). Lecturas de carga de penetración de (0,4 y 0,5 pulgadas) se pueden obtener si se desea. El contenido de humedad se puede determinar después de las pruebas, si se desea.

2.1.3. Cálculos

Principalmente se debe obtener la curva Esfuerzo - Deformación con los datos que se han registrado en el ensayo. En algunos casos, la penetración inicial tiene lugar sin un incremento proporcional a la resistencia a la penetración, y la curva puede ser cóncava hacia arriba. Para obtener las verdaderas relaciones de tensión-deformación, se debe corregir la curva, que tiene una forma cóncava hacia arriba cerca del origen, mediante el ajuste de la ubicación del origen, por una extensión de la porción de línea recta de la curva de tensión-deformación hasta que corta el eje de abscisas .

Los valores de carga corregidos se determinarán para cada muestra en 0.10 y 0.20 pulgadas de penetración. Valores del soporte California se obtienen en porcentaje al dividir los valores de carga corregidos en 0,10 y 0,20 pulgadas para las cargas del patrón CBR de 1000 y 1500 PSI respectivamente, y la multiplicación de estas relaciones por 100.

$$CBR = \frac{\text{valor de carga corregida}}{\text{carga estándar}} * 100 \tag{2.2}$$

El CBR se selecciona generalmente a 0,1 pulgadas de penetración. Si la relación de penetración 0.2 pulgadas es mayor, deberá volver a efectuarse la prueba. Si la prueba de verificación da un resultado similar, se utilizará la relación de penetración de 0.2 pulgadas.

Utilizando los datos obtenidos de las tres muestras, se obtiene la gráfica Densidad Seca - CBR mediante la cual se puede obtener el CBR de acuerdo al porcentaje de compactación requerido.

Una vez finalizado el ensayo, el informe de la prueba correspondiente consta de los siguientes elementos:

- Esfuerzo de compactación (número de golpes por capa).
- Densidad seca
- Humedad
- % Hinchamiento
- % CBR

2.2. Método de Prueba Estándar para el uso del Cono Dinámico de Penetración (DCP) en superficies pavimentadas.

De acuerdo al ***Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications ASTM D6951 / D6951M-09*** Ref.[10], este método de ensayo sirve para la medición de la tasa de penetración del Cono Dinámico con un peso de 8 kg o 17.6 lb a través de suelo o materiales compactados, o ambos. La tasa de penetración puede ser relacionada con el CBR (Bearing Ratio California) in situ. Este método de ensayo se utiliza principalmente en pavimentos. El martillo o pesa de penetración tiene dos alternativas, de 4.6 kg y 8 kg, y el uso de cada uno dependerá del tipo de material, por ejemplo en suelos blandos la penetración será excesiva, por lo cual será recomendable usar el peso menor.

El Cono Dinámico de Penetración consiste basicamente en tres partes:

- Primero, una varilla de 575 mm de longitud, sobre la cual se desliza el martillo ya sea de 4.6 kg o 8 kg con un manubrio al final para sostener el aparáto. Este primer elemento tiene la facilidad de apoyarse sobre el segundo elemento para transmitir los golpes.
- Segundo, una varilla de longitud variable en función de las necesidades de penetración con una punta tipo flecha removible o descartable, que es incada por efecto dinámico del primer elemento.
- Tercero, un dispositivo de lectura de penetración que se adapta a los dos elementos antes mencionados para distinguir la profundidad de penetración.

En la figura 2.4 se puede distinguir las partes mencionadas del cono dinámico de penetración:

Este método de prueba se utiliza para evaluar el CBR de la subrasante de los espesores estructurales o de aplicaciones de construcción horizontal, tales como pavimentos y losas de piso. Este instrumento se utiliza normalmente para evaluar las propiedades del material hasta una profundidad de 1000 mm o 39 pulgadas por debajo de la superficie. La profundidad de penetración se puede aumentar utilizando la varilla de extensión. Sin embargo, si se utilizan las extensiones se

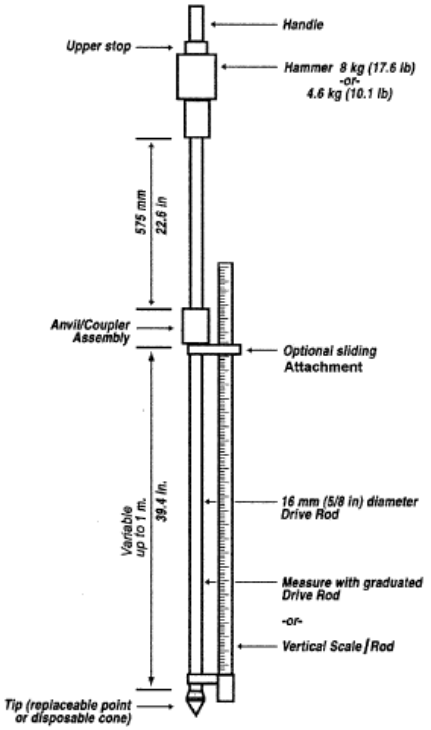


Figura 2.4: Cono Dinámico de Penetración: Ref:[10]

debe tomar en cuenta la masa y la inercia del dispositivo y también la fricción. Este dispositivo principalmente permite evaluar las características de resistencia de suelos finos y de grano grueso o de materiales estabilizados o cementados.

Basicamente los resultados de la penetración con el Cono Dinámico normalmente se correlacionan con los ensayos de laboratorio del CBR del mismo material.

El aparato, tiene las siguientes características:

- Varilla de acero de 16 mm de diámetro con una punta reutilizable o una desechable. La punta tiene un ángulo de 60 grados con la horizontal y un diámetro en la base de 20 mm, de acuerdo a las figuras 2.5 y 2.6 .
- El aparato se construye típicamente de acero con la excepción de la punta, que puede ser construido a partir de acero endurecido o de similar material resistente al desgaste.
- Martillo de doble masa de 8 kg y de 4.6 kg.
- Punta de cono desechable, la misma que puede ser utilizada en pavimentos

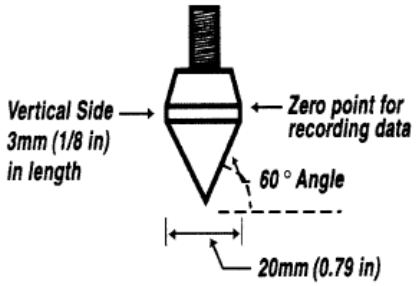


FIG. 2 Replaceable Point Tip

Figura 2.5: Punta reutilizable DCP: Ref:[10] : En la figura se muestra la punta reutilizable, sus dimensiones y el lugar de inicio de la penetración.

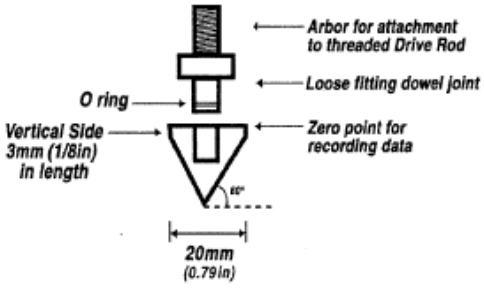


FIG. 3 Disposable Cone Tip

Figura 2.6: Punta Desechable DCP: Ref:[10] : En la figura se muestra la punta desechable, su acoplamiento, dimensiones y el lugar de inicio de la penetración.

existentes, ya que al finalizar el ensayo la varilla de accionamiento se tira hacia arriba y la punta desechable queda definitivamente en la estructura.

- Escala vertical graduada.

2.2.1. Cálculos

Por ejemplo, la correlación de la penetración por golpe con el CBR recomendada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. para todos los suelos excepto para suelos CL con CBR menores al 10 % y suelos CH de acuerdo al ***Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications ASTM D6951/D6951M-09*** es:

$$CBR = \frac{292}{(DCP)^{1,12}} \text{ para DCP en mm por golpe}$$
$$CBR = \frac{292}{(DCP * 25{,}4)^{1,12}} \text{ para DCP en pulgadas por golpe} \tag{2.3}$$

Para suelos CL con CBR menores al 10 %, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. recomienda las siguientes ecuaciónes:

$$CBR = \frac{1}{(0,017019 * DCP)^2} \text{ para DCP en mm por golpe}$$
$$CBR = \frac{1}{(0,432283DCP)^2} \text{ para DCP en pulgadas por golpe} \tag{2.4}$$

Para suelos CH, recomienda las siguientes ecuaciónes:

$$CBR = \frac{1}{(0,002871 * DCP)} \text{ para DCP en mm por golpe}$$
$$CBR = \frac{1}{(0,072923 * DCP)} \text{ para DCP en pulgadas por golpe} \tag{2.5}$$

La selección apropiada de la correlación es una responsabilidad profesional y debe considerarse cual debe ser utilizada dependiendo de cada caso. A continuación se presenta la figura 2.7 en donde se expone las ecuaciones desarrolladas a nivel mundial para la utilización del Cono Dinámico de Penetración. Cabe recalcar que todas las ecuaciones desarrolladas hasta la fecha son similares para índices DCP mayores a 4 mm por golpe, generándose incertidumbre en penetraciones más bajas, que conllevan a resultados de CBR muy altos.

Los resultados del ensayo del Cono Dinámico de Penetración se reflejan en tres gráficas: la curva DCP, la curva de BALANCE ESTRUCTURAL y el DIAGRAMA ESTRUCTURAL. En las tablas 6.18 a 6.27 de los ANEXOS se presentan las gráficas obtenidas en los ensayos DCP. En la figura 2.8 se presenta una curva

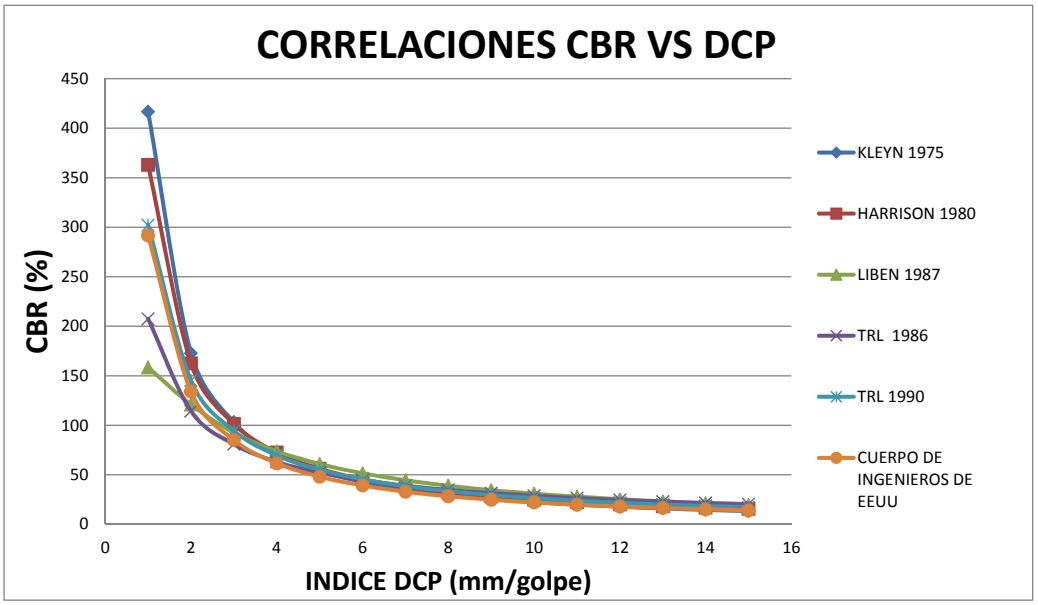


Figura 2.7: Ecuaciones de correlación desarrolladas a nivel mundial.

DCP típica, en la que se puede visualizar que el índice DCP es la pendiente de la linea que representa el ensayo del Cono Diámico de Penetración en una capa. También se puede evidenciar que el desarrollo del ensayo del Cono Diámico de Penetración en el mundo ha alcanzado unicamente la evaluación de las capas inferiores a la capa de rodadura del pavimento.

2.3. Pavimentos, Constitución y Conceptos Generales.

Pavimento es un conjunto de capas estructurales horizontalmente superpuestas, que se componen de materiales apropiados y adecuadamente compactados. Esta estructura estratificada se sustenta en la subrasante de la vía, la misma que debe resistir los esfuerzos producidos por la repetición de cargas transmitidas por el tráfico en un período de diseño. Las principales características que debe cumplir un pavimento son:

- Resistencia a las cargas de tránsito.
- Resistencia al intemperismo.

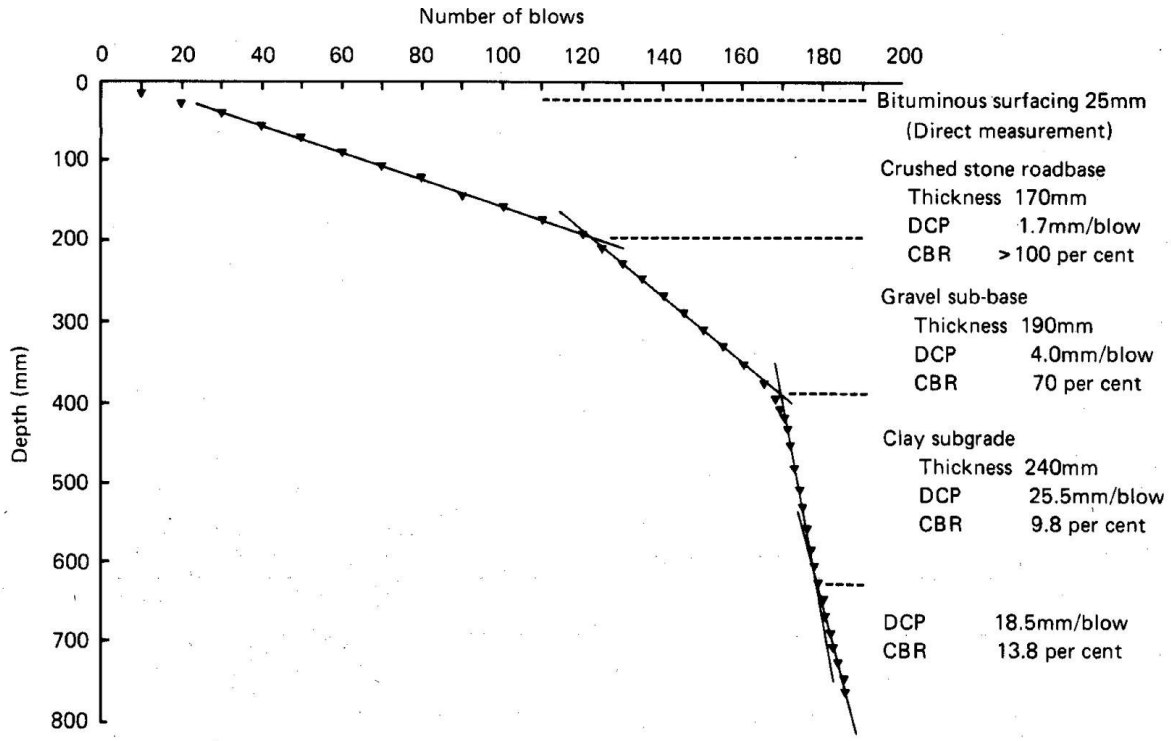


Figura 2.8: Ejemplo de curva DCP desarrollada por TRL para una estructura asfáltica. Ref:[11] pag.71

- Textura superficial que permita seguridad vial y que sea resistente a la abrasión.
- Regularidad superficial transversal y longitudinal para asegurar comodidad del conductor.
- Durabilidad.
- Drenaje efectivo.
- Ruido de rodadura tolerable.
- Economía.
- Color adecuado para evitar deslumbramientos y reflejos.

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en flexibles, semirígidos o semiflexibles, rígidos y articulados. Para los fines de este estudio vamos a describir el pavimento flexible.



Figura 2.9: Cono Dinámico de Penetración DCP: En la foto se muestra el equipo DCP del Gobierno Provincial del Azuay.

2.3.1. Pavimentos Flexibles

Esta clase de pavimento esta conformada por una carpeta bituminosa, apoyada por lo general sobre dos capas comunmente no rígidas, como son la base y la subbase; sin embargo, puede prescindirse de cualquiera de las mismas de acuerdo a las necesidades. A continuación se describen las funciones estructurales de cada una de las capas de este tipo de pavimento.

Subbase

La capa de subbase es una capa de menor calidad, que generalmente es más económica, y su consideración dentro de la estructura de un pavimento asfáltico puede representar un aumento en el espesor total, resultando más barata. Se presenta como una capa de transición que impide el contacto de la base con la subrasante, evitando contaminaciones que reducen la calidad. Su presencia reduce las deformaciones producidas en la subrasante por efectos de cambios volumétri-

cos, ligados principalmente a variaciones en la humedad o temperatura, evitando de esta forma repercusiones en la superficie de rodadura. La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos desde la superficie, y distribuir adecuadamente los mismos hacia la subrasante. También debe cumplir su función drenante de ser el caso, o sino impedir el ascenso capilar.

Base

La base tiene su principal función de ser una capa resistente que distribuye uniformemente las cargas derivadas del tránsito hacia la subbase, y respecto a la carpeta asfáltica representa una capa más económica.

Carpeta asfáltica

Su función en el aspecto del confort, le obliga a presentar un acabado uniforme, una textura y color adecuados, y resistir a la abrasión generada por el tránsito vehicular. En el aspecto de la impermeabilidad, debe detener el agua fuera de la estructura del pavimento, reduciendo la presión de agua de poro en las capas inferiores. Sus características de resistencia a los esfuerzos de tracción complementan la capacidad estructural del conjunto. En la figura 2.10, se presenta un esquema de las diferentes partes del pavimento flexible.

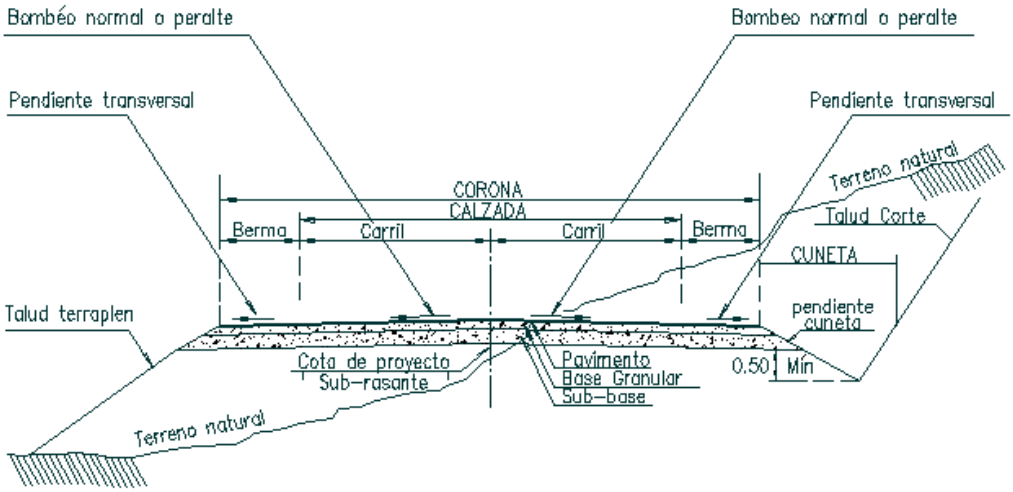


Figura 2.10: Sección típica de un pavimento flexible.

2.4. El CBR como parámetro estructural en el diseño del pavimento asfáltico.

Para el dimensionamiento estructural de las capas de un pavimento asfáltico, en la actualidad se dispone de dos métodos que vinculan la experiencia con la verificación:

- Método Empírico, que establece coeficientes de seguridad generalmente muy altos, lo cual conlleva a obtener espesores exagerados y cuyos resultados provienen de experiencias no probadas científicamente.
- Método Semiempírico, que tienen un sustento en pruebas que generalmente son de laboratorio, y que para el caso de vías la mayoría de métodos de diseño consideran el CBR como su parámetro principal.

Los métodos Semiempíricos que son más conocidos y utilizados para el diseño de pavimentos asfálticos en la zona son:

- Método del TRL (Transport and Road Research Laboratory) para el diseño de pavimentos flexibles en países tropicales y subtropicales. Ref: [11]
- Método de diseño de espesores de pavimento flexible para carreteras según el Instituto del Asfalto. Ref: [3]
- Método Aashto para diseño de pavimentos flexibles 1993. Ref: [2]

Estos métodos consideran una estructura multicapa, que están sustentados en la subrasante de cimentación, y cuyas características son valoradas por medio del módulo resiliente. Generalmente en los laboratorios del Azuay y en el mundo no es posible realizar ensayos que permitan establecer el módulo de resilencia. Sin embargo existen correlaciones que vinculan el CBR con el Módulo Resiliente, propuestas para la subrasante de tipo arcillo-limo-arenosos CL, CH, ML, SC, SM y SP con módulos resilientes menores a 207 MPa por el Instituto del Asfalto:

$$\begin{aligned} Mr(kg/cm^2) &= 100 * CBR \\ Mr(MPa) &= 10,3 * CBR \\ Mr(Lb/pulg^2) &= 1500 * CBR \end{aligned} \tag{2.6}$$

En el caso de las capas de base y subbase, para los métodos TRL y del Instituto del Asfalto se establecen características mínimas determinadas por el CBR de las mismas; mientras que en el método del AASHTO el CBR de las capas de base y subbase corresponden a un coeficiente estructural que forma parte del número estructural total. Para la verificación del cumplimiento del diseño estructural del pavimento flexible, considerando el material de la mina de Llatcon como capa de material de mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado, se va a utilizar el método AASHTO descrito a continuación.

2.4.1. Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles(versión 1993).Ref: [2]

Este método, como los anteriormente mencionados, basa su desarrollo fundamentalmente en el CBR de los materiales que constituyen la estructura, y el mismo será utilizado para cálculos de diseño dentro de este estudio, por ser el más difundido y utilizado en el Ecuador. Este método tiene sus inicios en el AASHO ROAD TEST, después del cual, por medio de una evaluación del comité de diseño del AASHTO en 1972, se elabora la "Guía provisional AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles", el mismo que funcionó algunos años, hasta 1986, fecha en la cual se realizan ajustes y consideraciones, especialmente en lo que corresponde a confiabilidad del diseño, características geotécnicas de la subrasante y de los materiales de las capas estructurales, factores ambientales, temperatura, humedad, drenaje y economía.

En el catálogo de publicaciones del AASHTO 2014, volúmen 2, se presenta la publicación: "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES, 4TH EDITION, WITH 1998 SUPPLEMENT", la misma que reemplaza a la edición de 1993, en la que se incluye cambios, unicamente en la Parte II de la publicación anterior, que corresponden al pavimento rígido, por lo que el método de diseño esta vigente a la fecha.

En este estudio se considera el libro "INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS" del autor Alfonso Montejo Fonseca Ref: [1], quien describe el método AASHTO en español.

Variables

- Restricciones de tiempo.- se refiere principalmente al periodo de diseño, que es el lapso de tiempo en el cual la estructura no va a requerir una rehabilitación, es decir que posterior a este es necesaria una rehabilitación.

- El Tránsito.- para este método se considera el número de ejes equivalentes a 18 kips, es decir W18 que es conocido como N.

- Confiabilidad.- la misma que al ser considerada incluye un grado de incertidumbre, mediante el cual se puede garantizar la predicción del tránsito y el comportamiento de la estructura para sobrevivir al periodo para el cual fue diseñado, para lo cual se tiene el tabla 2.1.

Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras		
Clasificación	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85-99,99	80-99
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras de tránsitos	80-95	75-95
Carreteras locales	50-80	50-80

Tabla 2.1: Niveles de confiabilidad. Ref:[1]pag.119

Criterios de comportamiento

- Servicialidad.- se refiere al servicio que va a prestar la vía en el periodo de diseño, el mismo que va en un rango de 0 (carretera mala) a 5 (carretera perfecta). Para la obtención de este índice se tiene un inicial P_0 y un final P_t, cuya diferencia es el índice de servicio total, de acuerdo a la siguiente ecuación:

  $\Delta PSI = P_0 - P_t$

- Propiedades de los materiales.- Módulo resiliente de la subrasante.- para este método el mecanismo de obtención de las propiedades de la subrasante es

mediante el módulo resiliente o elástico, el mismo que representa el estado de carga y descarga en el cual las deformaciones en carga y descarga se mantienen constantes. La obtención de este parámetro no es de una manera sencilla, pues requiere equipo de laboratorio triaxial que comunmente no cuentan los laboratorios del Azuay, sin embargo existen correlaciones como las del Instituto del Asfalto o las de Heukelom y Klomp para suelos finos con CBR sumergido menor del 10 % de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$Mr(psi) = 1500 * CBR \tag{2.7}$$

- Características de los materiales del pavimento.- para la evaluación de las diferentes capas de materiales estructurales, se toma en cuenta principalmente el módulo de elasticidad, el mismo que se obtiene a través de ensayos de laboratorio normalizados. A diferencia de los métodos TRL y del Instituto del Asfalto en el caso de la subbase, el método AASHTO no presenta requisitos específicos con respecto a su calidad, resultando aceptable cualquier material convencional como el material de la mina de Llatcon, que en función de sus propiedades mecánicas, refleje un coeficiente de capa principalmente de acuerdo a su CBR. En el caso de la base, la misma puede ser granular o estabilizada, siempre que supere las características de la subbase, y de la misma forma debe reflejar un coeficiente de capa. En el caso de la capa de rodadura asfáltica también se tiene un coeficiente estructural que corresponde a una mezcla de agregados pétreos con un producto bituminoso que no solamente debe garantizar su función estructural, sino también que resista la abrasión, que sea antidelizante, uniforme e impermeable. Para todos los tipos de materiales, incluídos los estabilizados se tienen tablas para obtener su coeficiente de capa, lo cual puede observarse en la Ref: [1] páginas 122 - 127.

Características estructurales del pavimento

Drenaje.- De acuerdo al método se sugiere la identificación del nivel o calidad del drenaje, para lo que se tiene el tabla 2.2.

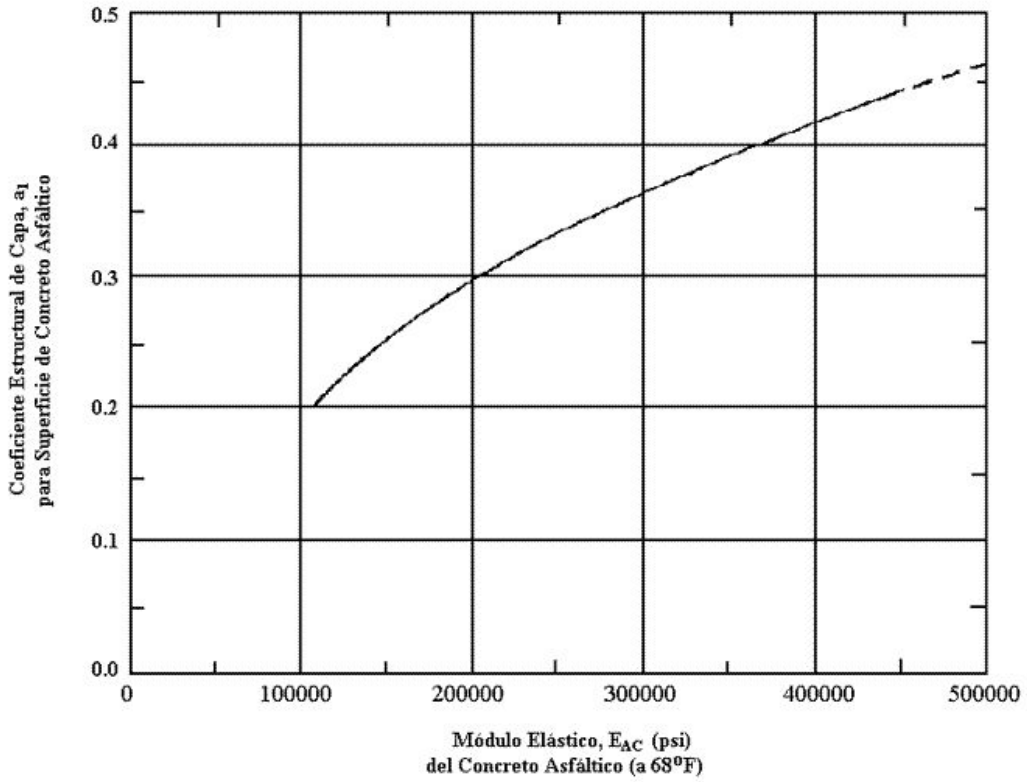


Figura 2.11: Gráfica para hallar a en función del módulo resiliente del concreto asfáltico. Ref:[1]pag.122

De acuerdo al tabla 2.2, se puede obtener el factor de modificación del coeficiente de capa que se demonina m_i y que forma parte de la ecuación para el número estructural SN que esta en función del coeficiente de capa a_i y del espesor de capa d_i. Para la AASHTO, de acuerdo a la calidad del drenaje y las condiciones de humedad, se tiene el tabla 2.3 para capas granulares:

Una vez establecidos todos los coeficientes, de acuerdo al AASHTO ROAD TEST se tiene la siguiente ecuación para tráfico superior a 0.05x10E5 ejes equivalentes a 8.2 toneladas:

$$logW_{18} = ZR * S_0 + 9{,}36\log(SN+1) - 0{,}20 + \frac{log\frac{\Delta PSI}{4{,}2-1{,}5}}{0{,}40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32logM_r - 8{,}07 \tag{2.8}$$

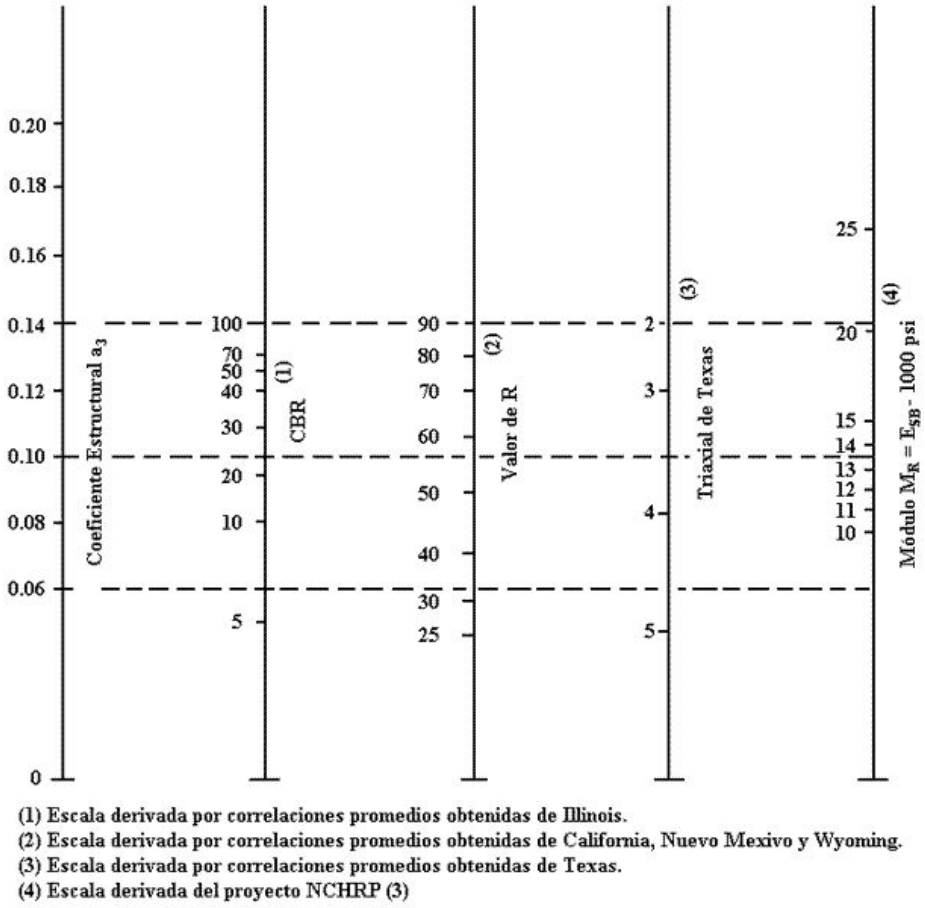


Figura 2.12: Variación del coeficiente a con diferentes parámetros de resistencia de la subbase. Ref:[1]pag.127

donde:

W_{18}=Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

ZR = Desviación estándar normal.

S_0=Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento.

ΔPSI= Diferencia entre el índice de servicio inicial P_0 y el final P_t.

M_r= Módulo resiliente.

$SN = a_1d_1 + a_2d_2m_2 + a_3d_3m_3$

Siendo:

a_i= Coeficiente estructural de capa i, el cual depende de la característica del ma-

Calidad del drenaje	Termino de remoción del agua
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	el agua no drena

Tabla 2.2: Calidad de drenaje. Ref:[1]pag.123

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximo a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	mayor 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Aceptable	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Tabla 2.3: Valores de mi recomendados para modificar capas de base y subbase granulares. Ref:[1]pag.128

terial con que ella se construya.

d_i= Espesor de la capa i en pulgadas.

m_i= Coeficiente de drenaje de la capa i.

2.5. Evaluación estructural del pavimento.

Para la evaluación de un pavimento en sus diferentes capas estructurales, existen algunos ensayos o métodos de evaluación de campo, que especialmente se utilizan para comprobar la resistencia remanente en estructuras colapsadas o en proceso de deterioro acelerado, con miras a un reforzamiento estructural.

En este caso, a pesar de que estos mecanismos pretenden evaluar la capacidad

remanente, pueden servir también eficazmente para determinar las condiciones actuales, y poder comprobar las características estructurales que tiene un pavimento en todas sus capas.

Los métodos para evaluación de un pavimento son destructivos y no destructivos. Los métodos no destructivos en general pretenden revisar las deformaciones existentes por medio de cargas superficiales como volquetes cargados o por fuerzas vibratorias o de impacto.

En el caso de los métodos de evaluación destructivos, se tiene:

- Excavaciones.- por medio de las cuales se pueden analizar todas las capas del pavimento, através de una excavación cuya profundidad dependerá de la capa que se desee analizar y de la profundidad a la cual se encuentre. Debe tenerse en cuenta que al realizar estas excavaciones o calicatas se obtiene un material aterado, es decir ya no del estado compactado o consolidado de sitio, que deberá ser llevado al laboratorio para que se realicen los ensayos correspondientes. En el ámbito vial se realizará la prueba de CBR de laboratorio, con las pruebas necesarias como son: Clasificación, límites de Atterberg, Proctor, que garantice la bondad del material y que se ajuste a las especificaciones viales vigentes. Otro aspecto a tomar en cuenta es que para realizar estas pruebas, se debe hacer un muestreo en varias zonas, para evitar datos aislados, lo cual implica una destrucción agresiva de la vía y en grandes áreas.

- Extracción de testigos.- que principalmente sirve para evaluar las caracteristicas del tipo de pavimento, ya sea de hormigón asfáltico o hidraúlico. Es decir no sirve para evaluar capas de base o subbase, pero si para subrasantes de origen limo arcillosos. Una vez obtenidos estos testigos se puede realizar en laboratorio pruebas de resistencia a la compresión simple o no confinada, para muestras de pavimento o subrasante, y adicionalmente pruebas de cortante directo y ensayos triaxiales para subrasantes.

- Placa de carga.- este método permite evaluar a través de un esfuerzo aplicado a cualquier nivel de la estructura del pavimento, la resistencia que presenta a esta carga. Este método implica la necesidad de contar con un volquete cargado para la realización de la prueba in situ, lo cual economicamente representa un costo, tanto de operación como de maquinaria, y

también se necesita destruir áreas considerables para llegar a la subestructura para realizar el diagnóstico. Si bien, es cierto, representa una alternativa para la obtención de resultados reales, pero por economía y por la destrucción masiva no es muy utilizado.

- Cono Dinámico de Penetración.- A pesar de tener sus limitaciones en suelos gruesos, la prueba del Cono Dinámico de Penetración para estructuras de pavimento asfáltico principalmente, representa una alternativa adecuada, ya que puede ser utilizada en cualquier lugar del pavimento, quedando una huella no mayor a los cuatro centímetros cuadrados. Tomando en cuenta las características de las capas del pavimento, que tienen una graduación especificada, y si la subrasante es de del tipo limo arcilloso, este método funciona correctamente. Para su operación se requieren tres personas y la prueba por cada punto puede durar de 15 a 30 minutos. Requiere una calibración en laboratorio para cada tipo de material, sin embargo existen correlaciones que vinculan la penetración con número de golpes, que luego se relaciona al CBR. Por economía y por los efectos destructivos considerablemente menores representa una opción adecuada para la evaluación de toda la estructura del pavimento, desde la capa de rodadura asfáltica, las capas de base, subbase y mejoramiento, hasta la subrasante.

2.6. Especificaciones del MTOP para la construcción de caminos y puentes.

Para la construcción vial en la república del Ecuador, el Ministrerio de Obras Públicas propuso en el año 2002 la versión Ref: [13] MOP - 001-F 2002 de las Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puentes, que ha sido utilizado como referente en los últimos diez años en todas las entidades del estado que realizan estas actividades.

En el año 2013 el Ministerio de Transporte y Obras Públicas propone la versión NEVI-12-MTOP de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes Ref:[14], en la que se establece que las disposiciones de la especificación constituye el reconocimiento de todas las prácticas, procedimientos y reglas técnicas internacionales convenientes para el Ecuador.

A pesar de existir versiones anteriores al 2002 de las especificaciones conocidas como "Libro Amarillo", se han considerado estas dos últimas versiones antes mencionadas por su vigencia en la última década, y en lo referente a las características del material de mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado, en la norma existe una variación respecto del CBR mínimo, que en el 2002 era del veinte (20) por ciento y en el 2013 es del diez (10) por ciento. Esta modificación permite utilizar más materiales que se encuentran en la naturaleza del Ecuador.

A continuación se describen las principales disposiciones de acuerdo a las especificaciones técnicas propuestas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas para construcción 2013:

- El material de mejoramiento de la subrasante con suelo seleccionado podrá obtenerse por excavación cercana a la ubicación del proyecto o de préstamo o por preparación en mina. La mejora de las características geotécnicas del material, tanto físicas como mecánicas, también pueden ser realizadas con estabilizaciones con cal, con material pétreo, membranas sintéticas, empalizada.

- El material de mejoramiento de la subrasante deberá ser granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros.

- La granulometría será tal que todas las partículas pasarán por el tamiz de 4 pulgadas (100 mm) y no más de 20 por ciento pasará el tamiz #200 (0,075 mm).

- La parte del material que pase el tamiz # 40 (0.425 mm) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta treinta y cinco (35), siempre que el valor del CBR sea mayor al 10 por ciento.

- El Material de tamaño mayor al especificado, deberá ser retirado antes de que se incorpore la obra. Se deberá desmenuzar, cribar, mezclar o quitar el material, para cumplir con las especificaciones correspondientes.

- La densidad de la capa compactada deberá ser del noventa y cinco (95) por ciento de la densidad obtenida del proctor del material.

- Se puede considerar otros límites en lo correspondiente al tamaño y al porcentaje de compactación, pero en estos casos la capa de 20 cm de la subra-

sante natural deberá cumplir con todas las especificaciones del material de mejoramiento.

- El equipo mínimo a considerar en el procedimiento de colocación del material de mejoramiento debe ser equipo de transporte, esparcimiento, mezclado, humedecimiento, conformación, compactación y, de ser necesario, planta de cribado.

- Previa a la colocación de las capas de subbase, base y la capa de rodadura, se deberá conformar y compactar el material a nivel de subrasante, de acuerdo a los requisitos compactación. La subrasante no deberá variar en ningún lugar de la cota y secciones transversales establecidas en más de 2 cm.

- La cantidad a pagarse por la construcción de mejoramiento de subrasante con suelo seleccionado, será los metros cúbicos efectivamente ejecutados y aceptados, medidos después de la compactación.

- Las dimensiones de ancho, longitud y espesor estarán de acuerdo a los planos u ordenados del fiscalizador.

- El precio por metro cúbico será la compensación total por la obtención, procesamiento, transporte y suministro de material, distribución, mezclado, conformación y compactación del material de mejoramiento, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos.

Capítulo 3

Resultados de laboratorio y campo.

3.1. Ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg y Clasificación de Suelos.

En lo referente a la granulometría, a continuación se presenta la tabla 3.1 que resume las características de tamaño del material de la mina de Llatcon.

RESUMEN DE LA GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL DE LA MINA DE LLATCON		
TAMÍZ No.	% RETENIDO	% QUE PASA
2	3%	97%
1 1/2	10%	90%
1	20%	80%
3/4	28%	72%
3/8	49%	51%
#4	66%	34%
#10	76%	24%
#40	86%	14%
#200	89%	11%

Tabla 3.1: Granulometría. Ref:Anexos.tabla 6.1

En lo que respecta a la fracción fina, los límites de Atterberg que se determinaron, se presentan en la tabla 3.2:

En lo referente a la clasificación de suelos, de acuerdo a la granulometría y

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG DEL MATERIAL DE LA MINA DE LLATCON		
DESCRIPCIÓN	**% OBTENIDO**	**ESPECIFICACIÓN MÁXIMA MOP2013**
LÍMITE LÍQUIDO	43.85%	35%
LÍMITE PLÁSTICO	25.68%	-
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	18.17%	9%

Tabla 3.2: Límites de Atterberg. Ref:Anexos.tabla 6.2

límites de Atterberg obtenidos, el material de la mina de Llatcon se clasifica como se expone en la tabla 3.3:

CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL MATERIAL DE LA MINA DE LLATCON		
MÉTODO	**DESCRIPCIÓN**	
SUCS	GP - GC	GP: Grava mal gradada, mezcla grava - arena, poco o ningún fino
		GC: Grava arcillosa, mezcla grava - arena, poco o ningún fino
AASHTO	A-2-7	Cascajos y arenas limosas o arcillosas, con fracción fina arcillosa

Tabla 3.3: Clasificación de suelos. Ref:Anexos.tabla 6.3

3.2. Ensayo Proctor Modificado.

Con la energía de compactación correspondiente al Proctor modificado, los resultados obtenidos para el material de la mina de Llatcon, se exponen en la tabla 3.4:

PROCTOR MODIFICADO DEL MATERIAL DE LA MINA DE LLATCON	
PROCTOR	**HUMEDAD**
1970 Kg/m3	11.61%

Tabla 3.4: Proctor Modificado. Ref:Anexos.tabla 6.4

3.3. Ensayo CBR de laboratorio.

Con el objetivo de trabajar con resultados más confiables, para el CBR del material de Llatcon, evaluado luego de la condición de sumergimiento en agua, se confeccionaron 15 muestras con diferentes calidades de compactación o porcentajes de compactación con respecto a la densidad seca máxima: 5 muestras compactadas con 56 golpes por capa, 5 muestras compactadas con 25 golpes por capa y 5 muestras compactadas con 12 golpes por capa.
Para cada calidad de compactación se obtuvo una curva esfuerzo - deformación como se muestra en la figura 3.1, y en la figura 3.2 se presenta el reporte consolidado de CBR sumergido.

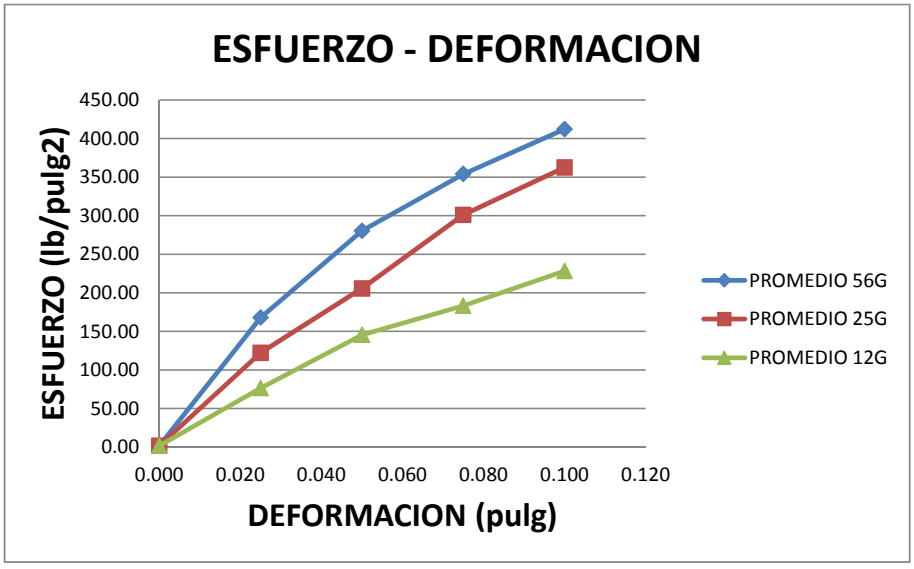


Figura 3.1: Curva esfuerzo - deformación muestra sumergida. Ref:Anexos.tabla 6.13

Para el CBR evaluado sin remojo, unicamente se realizaron dos muestras por

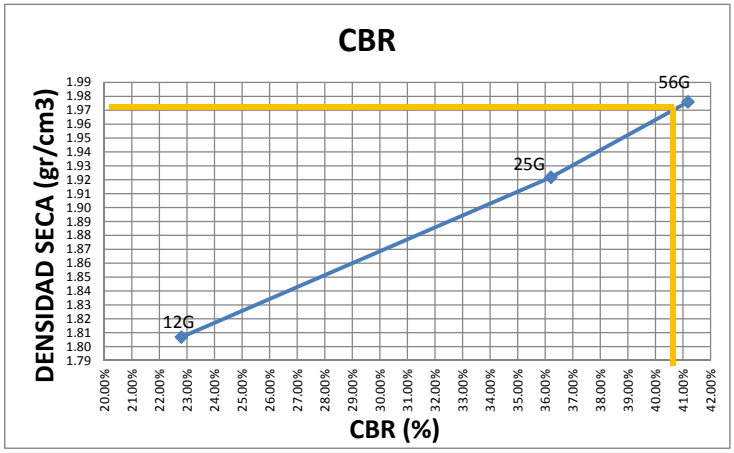


Figura 3.2: CBR general muestra sumergida. Ref:Anexos.tabla 6.13

cada calidad de compactación, obteniéndose un total de 6 muestras, y con el mismo criterio antes mencionado, se realizó la figura 3.3 esfuerzo - deformación, con la cual se genera el reporte consolidado de CBR sin sumergimiento, de acuerdo a la figuras 3.4:

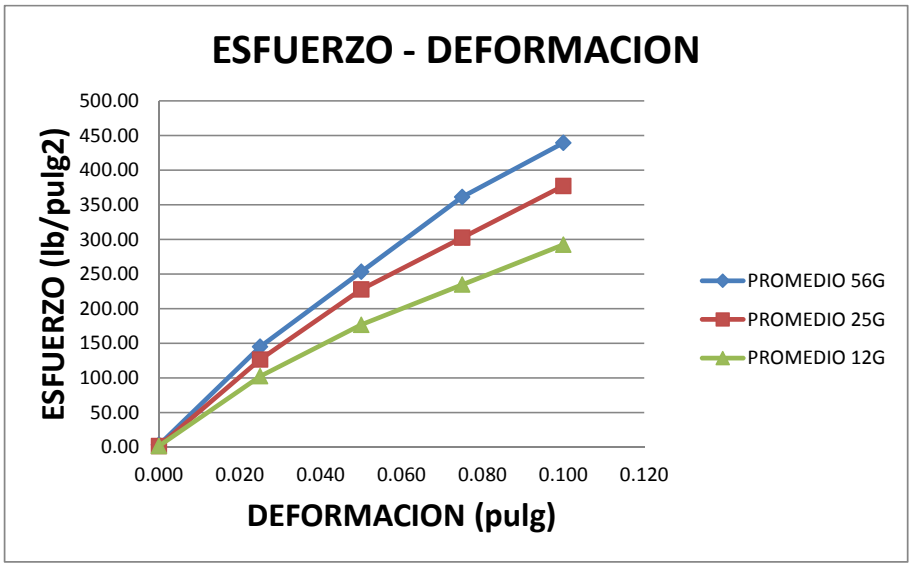


Figura 3.3: Curva esfuerzo deformación muestra sin sumergir. Ref:Anexos.tabla 6.17

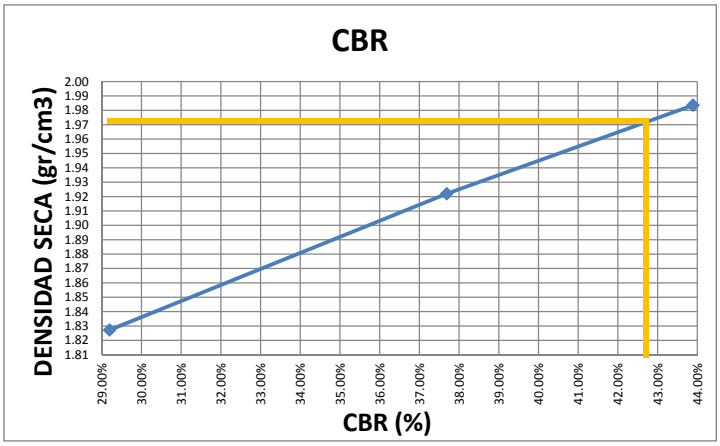


Figura 3.4: CBR general muestra sin sumergir. Ref:Anexos.tabla 6.17

3.4. Ensayo DCP de laboratorio.

Para relacionar los resultados obtenidos por el ensayo CBR evaluado después del remojo con el DCP, se elaboraron 12 muestras en total: 4 muestras compactadas con 56 golpes por capa , 4 muestras compactadas con 25 golpes por capa y 4 muestras compactadas con 12 golpes por capa.

Estas 12 muestras fueron sumergidas en agua y luego del remojo fueron evaluadas con las mismas condiciones del CBR, pero no se utilizó el disposito de carga, sino el Cono Dinámico de Penetración, obteniendose las gráficas siguientes, según las cuales se determina el índice DCP para cada calidad de compactación o densidad:

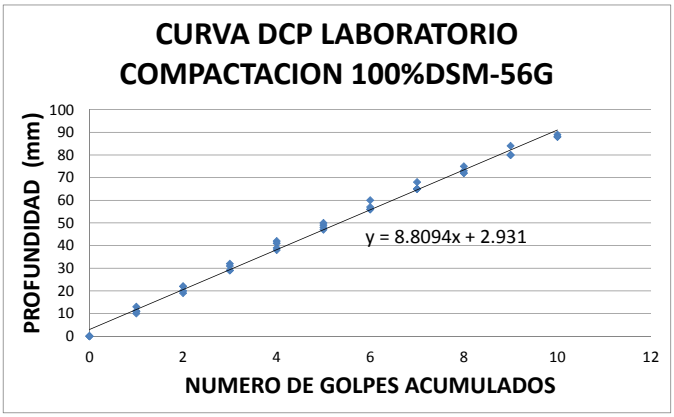


Figura 3.5: Curva DCP 100 %DSM-56G. Ref:Anexos.tabla 6.28

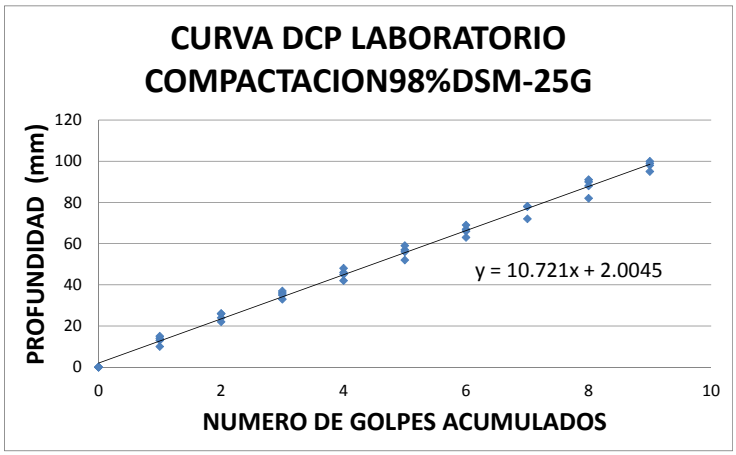


Figura 3.6: Curva DCP 98 %DSM-25G. Ref:Anexos.tabla 6.29

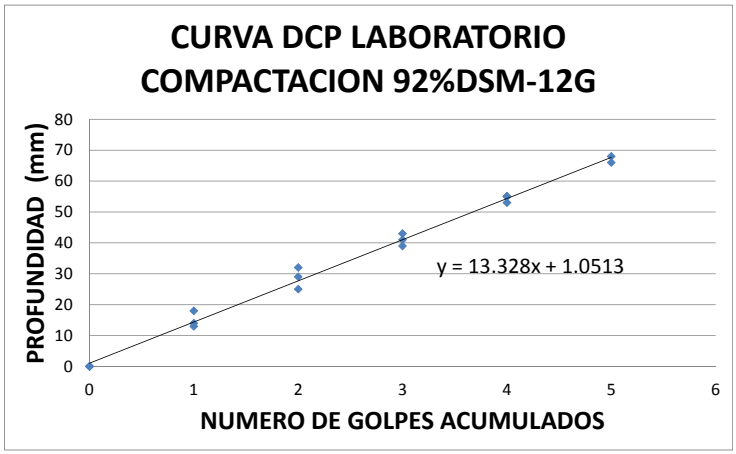


Figura 3.7: Curva DCP 92 %DSM-12G. Ref:Anexos.tabla 6.30

3.5. Ensayo DCP in situ.

Se realizó la evaluación en la estructura existente de 20 cm de base sobre 20 cm de material de la mina de Llatcon. Los resultados obtenidos en la evaluación realizada por medio del Cono Dinámico de Penetración en la vía Señor de Burgos cada 100 metros, se presentan las siguientes gráficas correspondientes a la curva DCP, en las que se determina el índice DCP para cada una de las capas que fueron penetradas, en cada una de las abscisas:

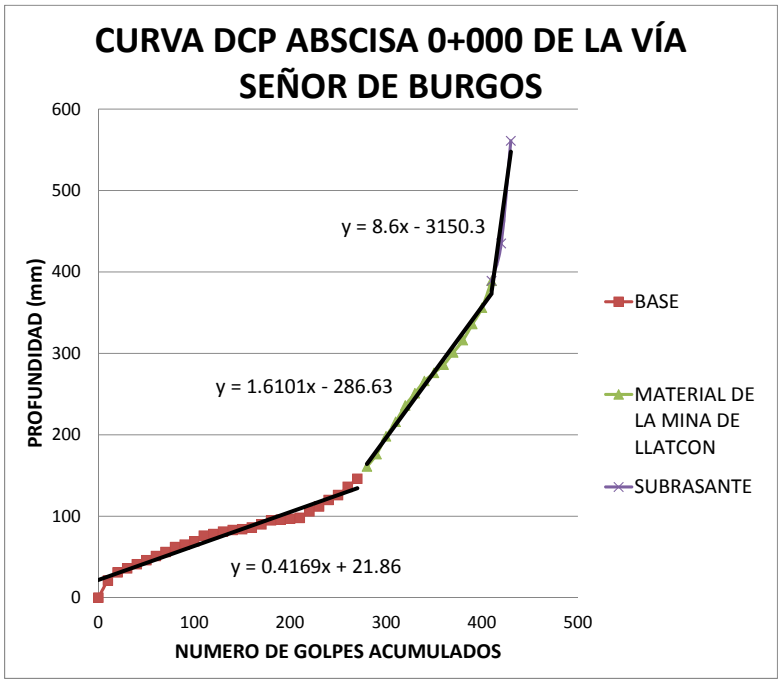


Figura 3.8: Curva DCP abscisa 0+000. Ref:Anexos.tabla 6.18

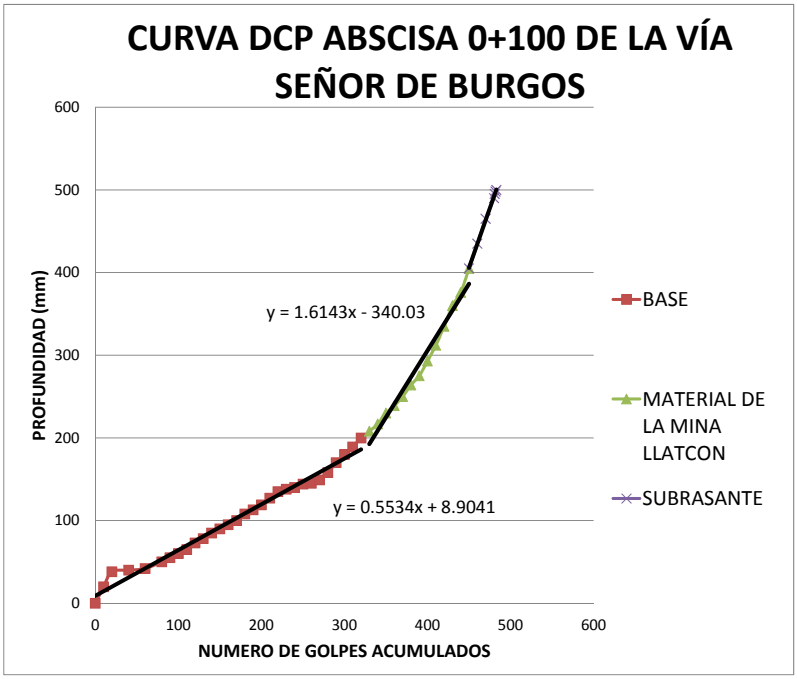


Figura 3.9: Curva DCP abscisa 0+100. Ref:Anexos.tabla 6.19

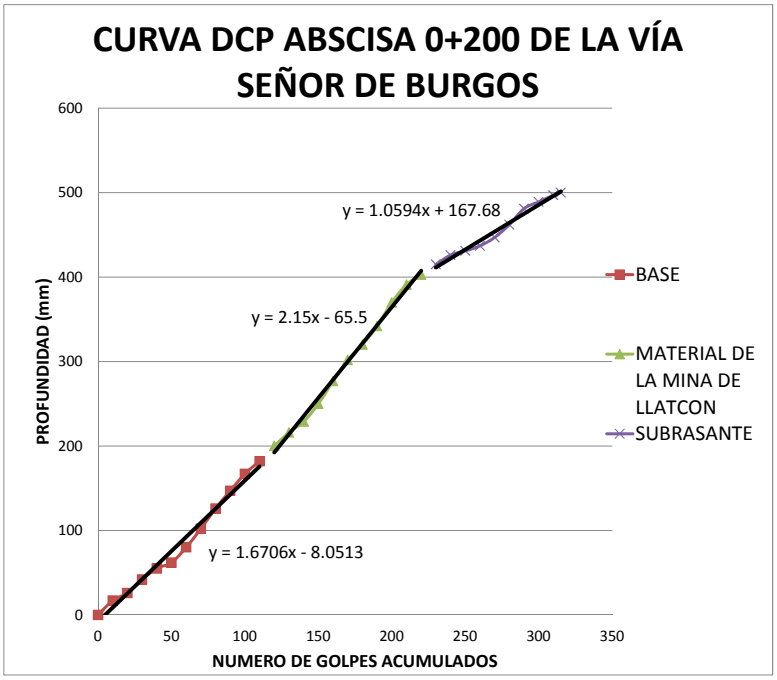


Figura 3.10: Curva DCP abscisa 0+200. Ref:Anexos.tabla 6.20

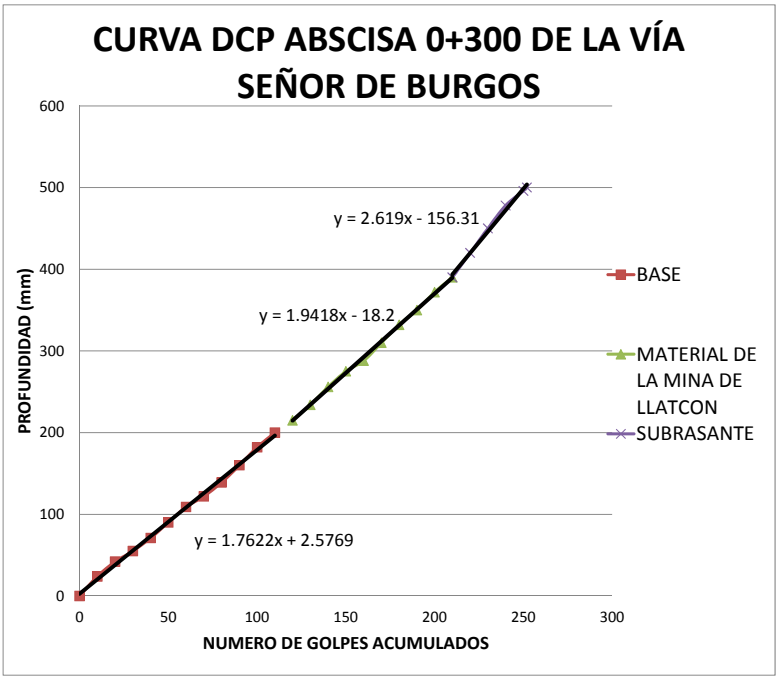


Figura 3.11: Curva DCP abscisa 0+300. Ref:Anexos.tabla 6.21

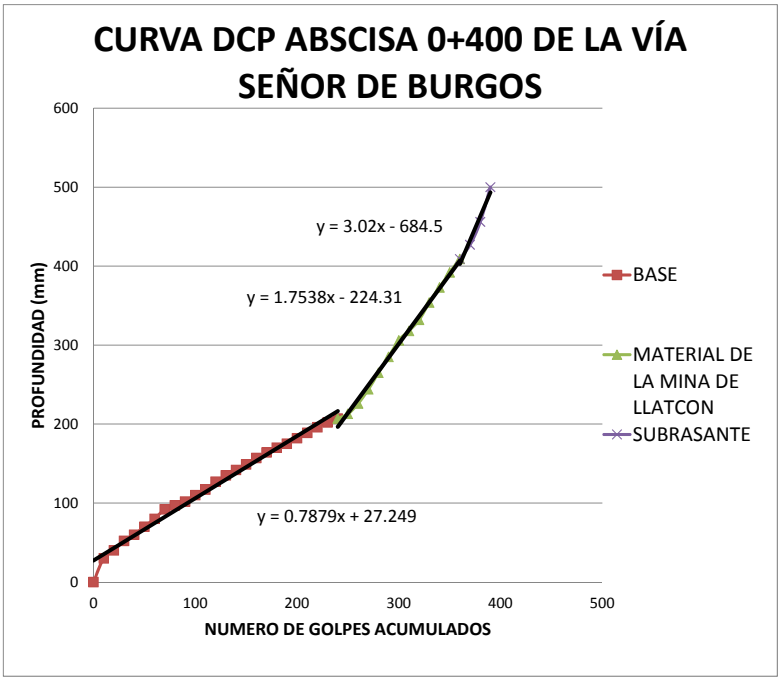


Figura 3.12: Curva DCP abscisa 0+400. Ref:Anexos.tabla 6.22

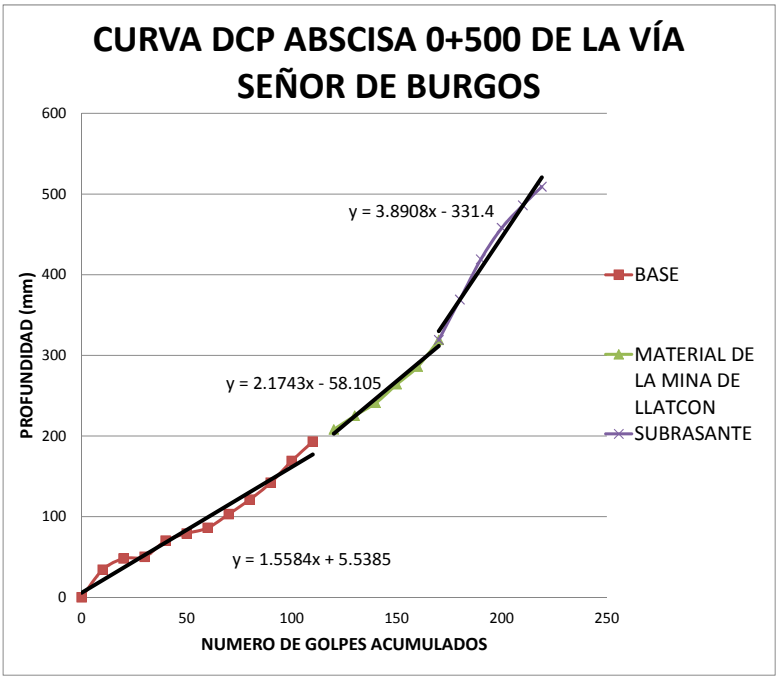


Figura 3.13: Curva DCP abscisa 0+500. Ref:Anexos.tabla 6.23

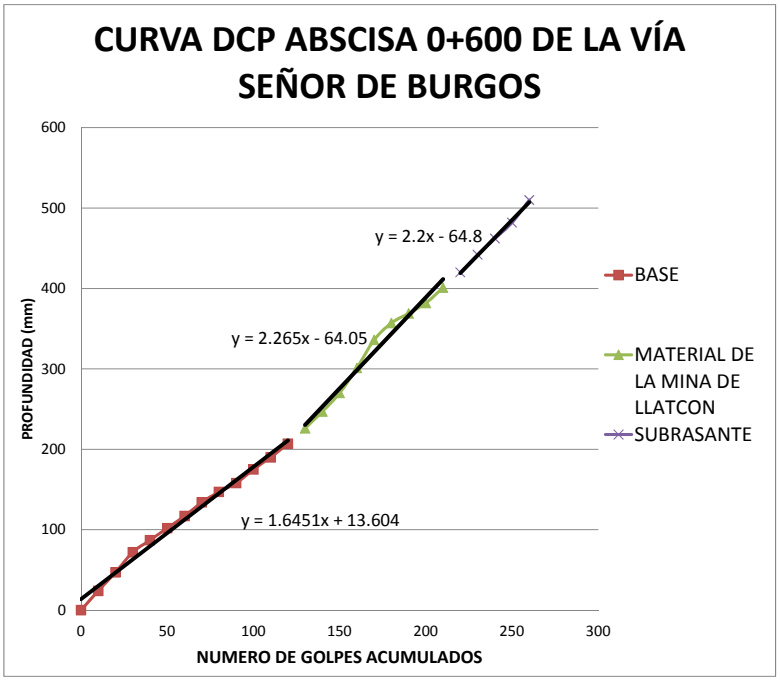


Figura 3.14: Curva DCP abscisa 0+600. Ref:Anexos.tabla 6.24

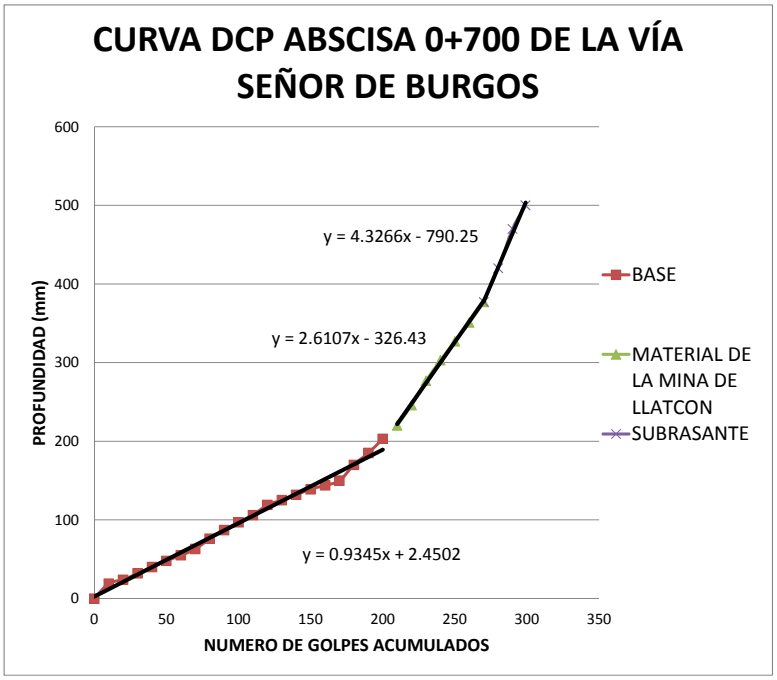


Figura 3.15: Curva DCP abscisa 0+700. Ref:Anexos.tabla 6.25

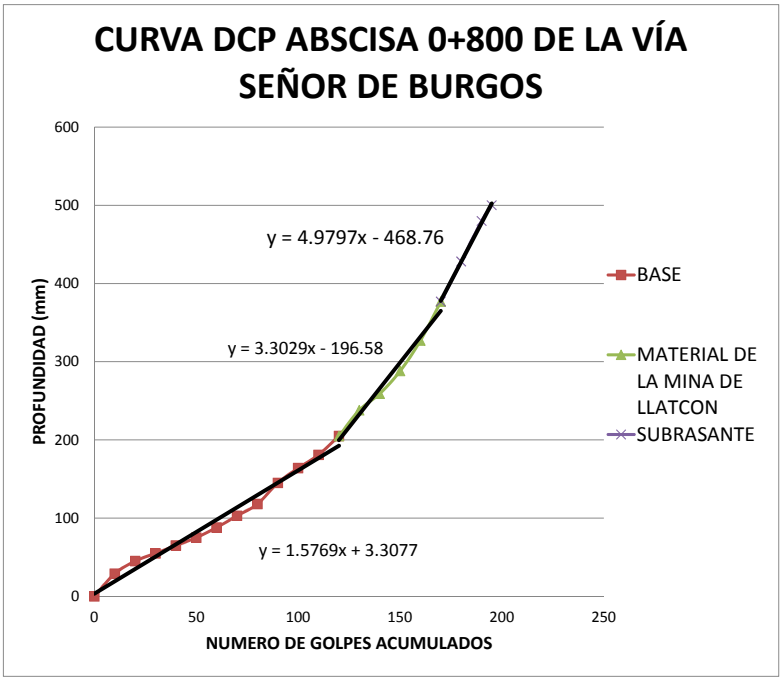


Figura 3.16: Curva DCP abscisa 0+800. Ref:Anexos.tabla 6.26

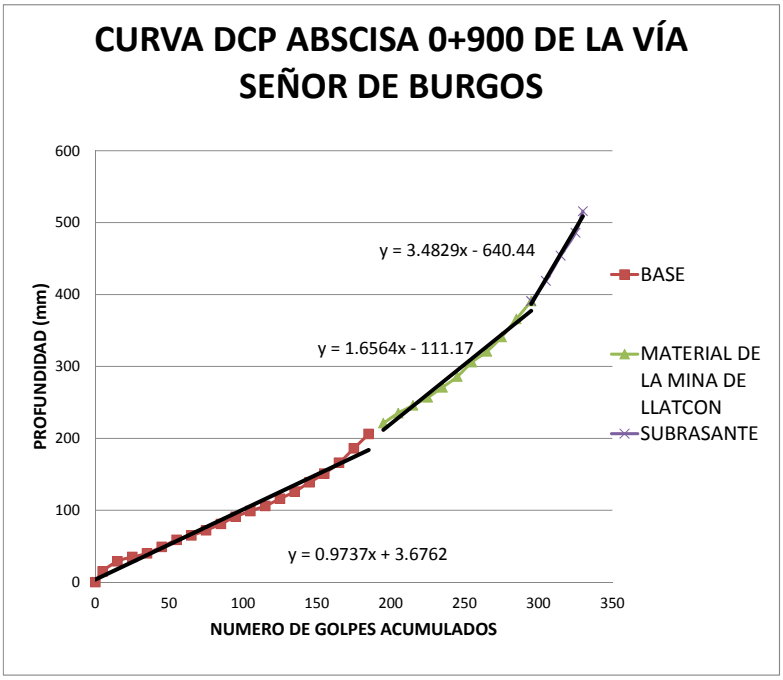


Figura 3.17: Curva DCP abscisa 0+900. Ref:Anexos.tabla 6.27

3.6. Densidades de campo.

Las densidades obtenidas, a través del densímetro nuclear, determinan los siguientes resultados expuesto en la tabla 3.5:

RESUMEN DE DENSIDADES DE CAMPO OBTENIDAS POR EL DENSÍMETRO NUCLEAR DE LA CAPA DE MATERIAL DE LA MINA DE LLATCON	
ABSCISA	**DENSIDAD SECA MAXIMA**
0+000	2147 Kg/cm3
0+100	2097 Kg/cm3
0+200	1997 Kg/cm3
0+300	1966 Kg/cm3
0+400	2091 Kg/cm3
0+500	1947 Kg/cm3
0+600	2079 Kg/cm3
0+700	2170 Kg/cm3
0+800	2059 Kg/cm3
0+900	2134 Kg/cm3

Tabla 3.5: Densidades de campo. Ref:Anexos.tabla 6.5 - 6.6

Capítulo 4

Análisis de resultados.

4.1. Análisis de granulometría, límites de Atterberg y proctor modificado.

- De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el material de la mina de Llatcon corresponde a la clasificación GP-GC, y de acuerdo al AASHTO a la clasificación A-2-7, como se detalla en la tabla 6.3. Enmarcado en las especificaciones del MTOP, todo el material la mina de Llatcon pasa el Tamiz de 4 pulgadas, por lo cual, en este aspecto, cumple con la granulometría especificada para material de mejoramiento con suelo selecccionado.

- El límite líquido obtenido es igual a 43,85 %, que es superior al máximo especificado del 35 %, mientras que el índice de plasticidad obtenido es igual a 18,17 % que es superior al máximo especificado del 9 % por el MTOP para material de mejoramiento con suelo seleccionado, es decir el material de la mina de Llatcon no cumple con las especificaciones de plasticidad.

- La densidad seca máxima obtenida es de 1970 kg/m^3 con una humedad óptima de 11,61 %, que si bien es cierto el MTOP no considera este parámetro en las especificaciones actuales, el mismo refleja que corresponde a una densidad alta, ya que las bases granulares están en los rangos de 2000 a 2300 kg/m^3.

- En la vía Señor de Burgos se han tomado las densidades de campo cada

100 metros en la capa de material de la mina de Llatcon, las mismas que reflejan que el proceso de compactación ha sido exitoso. Debe considerarse que el Proctor utilizado para la prueba de campo fue 1980 kg/m^3, mientras el Proctor modificado es un poco menor con el valor de 1970 kg/m^3, obteniendose los resultados expuestos en la tabla 4.1, los que demuestran que se cumplen las especificaciones.

VERIFICACIÓN DE DENSIDADES DE CAMPO PREVIA A LA COLOCACIÓN DE LA BASE GRANULAR				
ABSCISA	DENSIDAD con respecto a 1980 kg/m³ tomada in situ		DENSIDAD con respecto a 1970 kg/m³ que corresponde al Proctor Modificado	Especificación del MTOP para material de mejoramiento
	%	kg/m³	%	%
0+000	108.50%	2148.30	109.05%	95.00%
0+100	105.90%	2096.82	106.44%	95.00%
0+200	100.80%	1995.84	101.31%	95.00%
0+300	99.30%	1966.14	99.80%	95.00%
0+400	105.60%	2090.88	106.14%	95.00%
0+500	98.30%	1946.34	98.80%	95.00%
0+600	105.00%	2079.00	105.53%	95.00%
0+700	109.60%	2170.08	110.16%	95.00%
0+800	104.00%	2059.20	104.53%	95.00%
0+900	107.80%	2134.44	108.35%	95.00%
0+932	110.90%	2195.82	111.46%	95.00%

Tabla 4.1: Densidades de campo: En la tabla se presentan los resultados obtenidos con el densímetro nuclear del Gobierno provincial del Azuay y la comparación de los mismos con respecto a la especificación vigente

4.2. Análisis de CBR

- El CBR después del remojo obtenido es igual a 40,75 %, mayor al mínimo especificado del 10 % por el MTOP en las mismas condiciones de humedad, y el porcentaje de hinchamiento es de 0,26 %.
- El CBR sin sumergir obtenido es igual a 42,75 %.
- El efecto del sumergimiento no es influyente ya que la variación del porcentaje de CBR es de apenas 2 puntos porcentuales.

4.3. Análisis del DCP de laboratorio.

- Con los grupos de muestras probadas en laboratorio a distintas calidades o densidades de compactación se ha establecido el indice DCP de penetración que se exponen a continuación en la siguiente tabla:

RESUMEN DE LOS ÍNDICES DCP DE LABORATORIO OBTENIDOS POR EL CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN EN EL MATERIAL DE LA MINA DE LLATCON	
COMPACTACIÓN	**INDICE DCP**
100%DSM - 56 GOLPES	8.809 mm/golpe
98%DSM - 25 GOLPES	10.721 mm/golpe
92%DSM - 12 GOLPES	13.328 mm/golpe

Tabla 4.2: Índice DCP. Ref:Anexos.tabla 6.28 - 6.30

- Se ha obtenido la curva que correlaciona los resultados del Cono Dinámico de Penetración y el CBR de laboratorio para el material de la mina de Llatcon. En la figura 4.1 se presenta la comparación con algunas ecuaciones desarrolladas para su uso tanto en terraplenes como en subrasantes naturales.

- El punto número P1 corresponde al índice de penetración de 8.8094 mm/golpe obtenido en la tabla 6.28 con el CBR de 41,28 % de la tabla 6.13, ambos a la compactación de 56 golpes por capa.

- El punto número P2 corresponde al índice de penetración de 10.721 mm/golpe obtenido en la tabla 6.29 con el CBR de 36,21 % de la tabla 6.13, ambos a la compactación de 25 golpes por capa.

- El punto número P3 corresponde al índice de penetración de 13.328 mm/golpe obtenido en la tabla 6.30 con el CBR de 36,21 % de la tabla 6.13, ambos a la compactación de 12 golpes por capa.

- Los puntos P1, P2 y P3 generan una ecuación aproximada expuesta en la tabla 4.3, en la que también se incluyen las ecuaciones desarrolladas para el

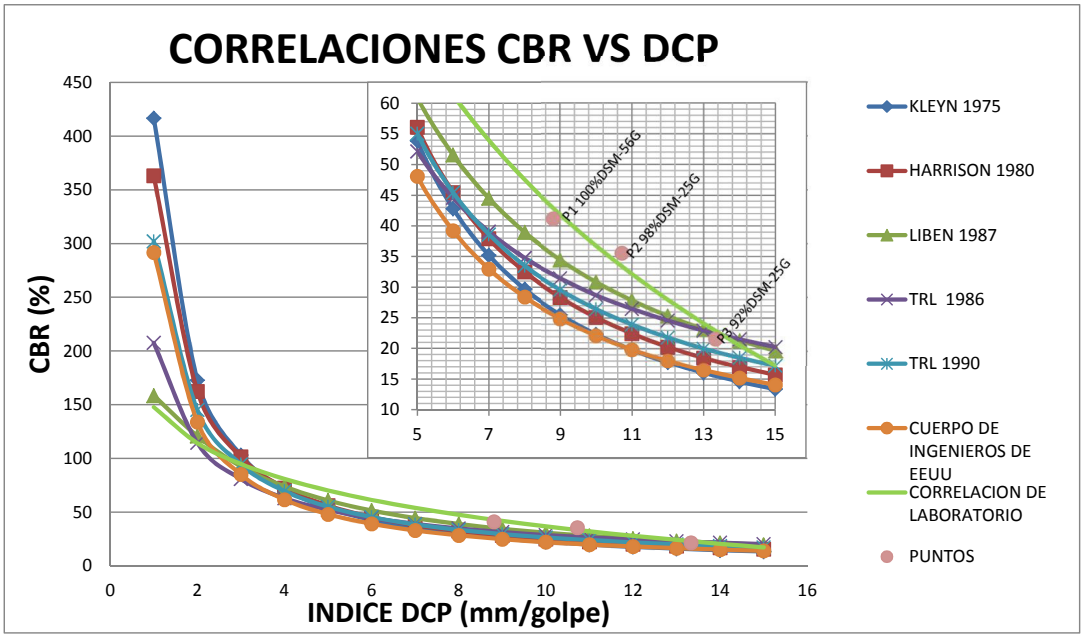


Figura 4.1: Correlaciones CBR vs DCP index: En la figura se presenta las ecuaciones de correlación del CBR en función del índice de penetración en mm/golpe.

uso del Cono Dinámico de Penetración en terraplenes como en subrasantes naturales de tipo arcillo - limoso.

VALORES DE CBR OBTENIDOS REEMPLAZANDO EN LAS DIFERENTES ECUACIONES A NIVEL MUNDIAL Y EN EL LABORATORIO				
AUTOR-AÑO	ECUACIÓN	100%DSM-56G	98%DSM-25G	92%DSM-12G
		8.809 mm/golpe	10.721 mm/golpe	13.328 mm/golpe
KLEYN 1975	LOG(CBR)=2.62-1.27LOG(DCP)	26.24 %	20.49 %	15.54 %
HARRISON 1980	LOG(CBR)=2.56-1.16LOG(DCP)	29.09 %	23.17 %	17.98 %
LIBEN 1987	LOG(CBR)=2.2-0.71LOG(DCP)^1.5	35.25 %	28.67 %	22.54 %
TRL 1986	LOG(CBR)=2.32-0.86LOG(DCP)	32.05 %	27.10 %	22.49 %
TRL 1990	LOG(CBR)=2.48-1.06LOG(DCP)	30.26 %	24.60 %	19.52 %
CUERPO DE INGENIEROS DE EEUU	LOG(CBR)=2.47-1.12LOG(DCP)	25.50 %	20.43 %	16.03 %
CORRELACION PARA MATERIAL DE LA MINA DE LLATCON	(CBR)=148-48.2LN(DCP)	42.89 %	33.42 %	22.93 %

Tabla 4.3: Valores de CBR en función de algunas ecuaciones desarrolladas a nivel mundial.

- De acuerdo a la figura 4.1 se puede evidenciar que las ecuaciones desarrolla-

das a nivel mundial, tanto para terraplenes como subrasantes limo-arcillosa son muy conservadoras para este tipo de material de la mina de Llatcon, pero su utilización aporta un factor de seguridad adicional en el momento del diseño o evaluación.

4.4. Análisis del CDP de campo

En la tabla 4.4 se puede verificar que en el registro del índice DCP de las diferentes abscisas de la vía Señor de Burgos, ninguna es superior a 8.8094 mm/golpe, como se obtuvo en laboratorio.

RESUMEN DE LOS ÍNDICES DCP DE CAMPO OBTENIDOS POR EL CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN EN LA CAPA DE MATERIAL DE LA MINA DE LLATCON EXISTENTE EN LA VÍA SEÑOR DE BURGOS	
ABSCISA	**INDICE DCP**
0+000	1.610 mm/golpe
0+100	1.614 mm/golpe
0+200	2.150 mm/golpe
0+300	1.942 mm/golpe
0+400	1.754 mm/golpe
0+500	2.174 mm/golpe
0+600	2.265 mm/golpe
0+700	2.611 mm/golpe
0+800	3.303 mm/golpe
0+900	1.656 mm/golpe

Tabla 4.4: Registro del índice DCP por abscisa en la vía Señor de Burgos. Ref:Anexos.tabla 6.18 - 6.27

La variación en los registro por abscisa correponden a efectos de rozamiento, desplazamientos o contacto directo con partículas grandes.

4.5. Análisis estructural del pavimento

Los datos preliminares para el diseño del pavimento flexible se encuentran en la tabla 4.5, y con los mismos se ha realizado el diseño por medio del método

AASHTO.

TABLA DE DATOS INICIALES NECESARIOS PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO POR EL METODO AASHTO 1993		
PARÁMETRO	**REFERENCIA**	**CANTIDAD**
$W_{8\cdot2}$	ejes equivalentes	868218
Zr	desviación estándar	0.524
So	error estándar	0.4
Po	índice de servicio inicial	4.5
Pt	índice de servicio final	2
ΔPSI	Diferencial de servicio	2.5
CBR%	cbr de la subrasante	4.0

Tabla 4.5: Parámetros de diseño según el método AASHTO

Una vez establecido el valor del CBR del material de la mina de Llatcon igual al 40.75 %, se considera un 80 % de este CBR que da como resultado 32.60 %, y con este valor se obtiene de la figura 2.12 un coeficiente estructural igual a 0.11, y con el mismo se propone la estructura de pavimento asfáltico por el método del AASHTO de acuerdo al tabla 6.31.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El Cono Dinámico de Penetración permite determinar de forma indirecta la capacidad portante (CBR) de una capa estructural de un pavimento a través del procedimiento descrito en la figura 5.1.
- Al utilizar el procedimiento descrito, con el aporte del Cóno Dinámico de Penetración, se puede verificar en campo que se cumplen las condiciones de diseño estructural del pavimento asfáltico.
- La evaluación indirecta del CBR con el Cono Dinámico de Penetración, unicamente implica un ensayo más en laboratorio, además de los ensayos habituales mínimos, por lo que su uso en terraplenes es óptimo.
- El Cono Dinámico de Penetración permite obtener información geotécnica a través de un método no tradicional para el diseño y evaluación de pavimentos, de una manera rápida, fácil, confiable y economíca.
- El Cono Dinámico de Penetración se convierte en un instrumento liviano y de transporte fácil que puede ser utilizado en la evaluación de las capas estructurales de un pavimento sin producir mayor destrucción.
- Por medio del procedimiento de evaluación descrito y probado en el material de la mina de Llatcon se concluye que el mismo, puede ser utilizado dentro de la estructura de un pavimento asfáltico, verificando que se cumplen las densidades de campo mínimas, las humedades óptimas, los indices DCP

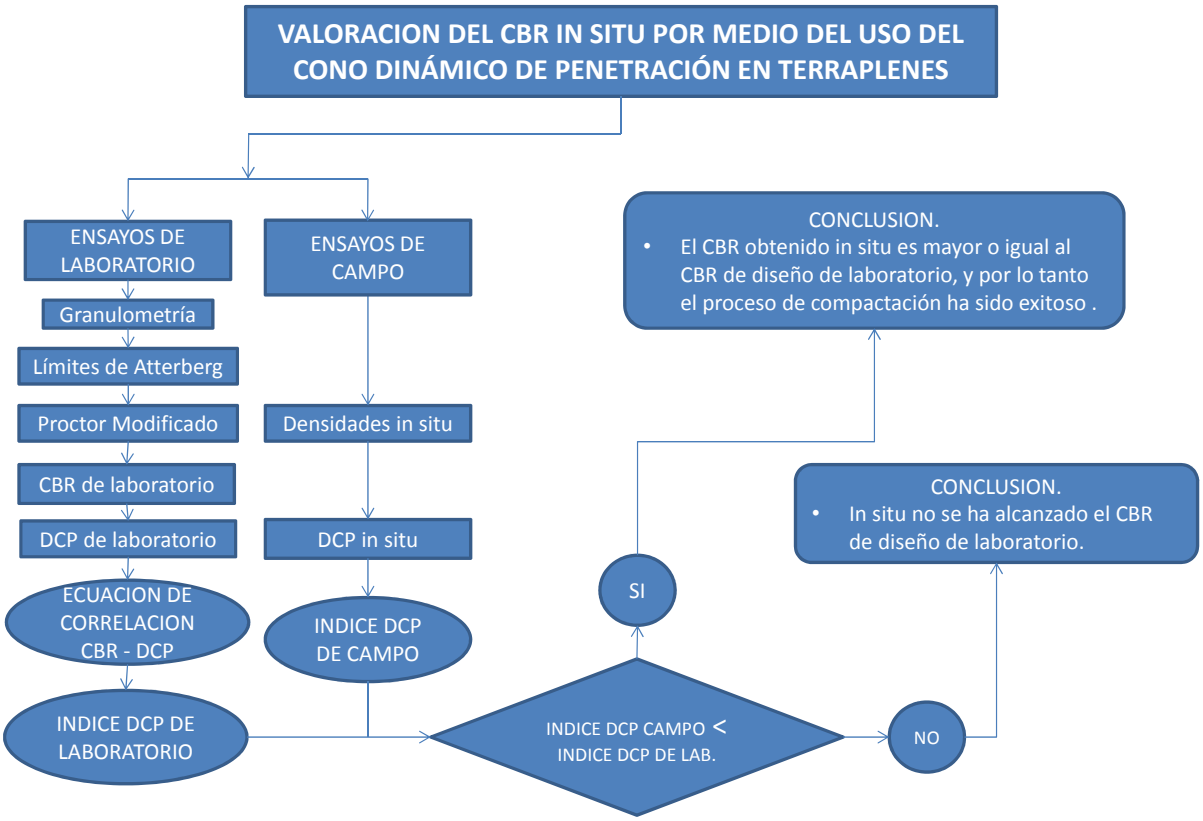


Figura 5.1: Diagrama de valoración del CBR in situ de forma indirecta por medio del Cono Dinámico de Penetración.

máximos, y las condiciones de diseño de la estructura afáltica planificada con este material.

- La evaluación del CBR por medio indirecto con el Cono Dinámico de Penetración, representa una alternativa confiable ya que presenta un registro de la penetración de acuerdo a las condiciones de fricción, del proceso de compactación y del acomodo de las partículas.

- El ensayo del Cono Dinámico de Penetración, como alternativa para la evaluación geotécnica de la estructura de pavimento, constituye un medio confiable siempre y cuando se realice en capas de material tipo base, subbase y mejoramiento debido a su graduación, ya que el principio fundamental del ensayo es que se mantenga la verticalidad durante toda la prueba, evitando así daños en el aparato y resultados erróneos.

- El CBR in situ no refleja las condiciones de confinamiento lateral y de fondo que se producen en laboratorio, por lo que la correlación entre el CBR y DCP más cercana a la realidad, debe ser realizada en laboratorio.

- El ensayo de CBR de laboratorio se hace con el material que tiene un diámetro menor o igual a 3/4 de pulgada, por lo que si en obra se utiliza material más grueso, se puede tener CBR más alto in situ.

- En el caso del material de la mina de Llatcon, el hinchamiento producido por el sumergimiento en agua representa un 0.26 %, lo cual indica que en presencia de la misma, no van a presentarse mayores deformaciones.

- El índice DCP máximo obtenido en laboratorio al 100 % de la densidad seca máxima es de 8.809mm/golpe, que correspondiente a un CBR del 40,50 %. El registro de los indices DCP obtenidos en in situ en la vía Señor de Burgos, en la capa de material de la mina de Llatcon reflejan resultados menores a 8.809mm/golpe, por lo que se puede garantizar un CBR in situ mayor a 40,50 %.

- Tomando en cuenta las Especificaciones para la Construcción de Caminos y Puentes del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, el material de la mina de Llatcon puede ser categorizado como material de mejoramiento con suelo seleccionado por poseer un CBR próximo a 40,75 %, a pesar de sus características de plasticidad inaceptables para la norma.

- Los Límites de Atterberg pueden servir como un indicio de la calidad del material a utilizarse en una estructura de pavimento, pero no pueden ser quienes desaprueben el uso del mismo hasta que se verifique su CBR, y en este aspecto el método del AASHTO para el diseño de pavimentos asfálticos, siendo el más popular y utilizado a nivel regional, no considera las caracterísiticas físicas de plasticidad de los materiales estructurales para el diseño, sino unicamente las características mecánicas reflejadas en el CBR.

- Por medio del método AASHTO para el diseño de una estructura con capa de rodadura asfáltica, se puede verificar que utilizando el material de la mina de Llatcon se completa el número estructural total necesario, sin haber provocado una estructura más gruesa de lo normal. Y las vías mencionadas

en los antecedentes, que han sido construídas con este material, luego de algunos aos no presentan deformaciones estructurales.

5.2. Recomendaciones Futuras

1. Se recomienda continuar las investigaciones a través de evaluaciones de deformación y deterioro, para establecer posibles daños en la estructura debido al tiempo y al proceso de carga y descarga por el tráfico.

2. Como se ha demostrado en este estudio, las ecuaciones de correlación DCP disponibles en la bibliografía en la tabla 4.3 proporcionan valores muy conservadores, por lo tanto, para evaluar las propiedades mecánicas de cualquier otro material por medio del Cono Dinámico de Penetración se debe establecer la ecuación de coorrelación correspondiente tomando en cuenta la calibración de laboratorio.

3. Adoptar el Cono Dinámico de Penetración, como método de evaluación de bases y subbases granulares.

Capítulo 6

Anexos

1. Granulometía 71
2. Límites de Atterberg 72
3. Clasificación de suelos 73
4. Proctor modificado 74
5. Densidades de campo ..... 75 - 76
6. CBR con remojo ..... 77 - 83
7. CBR sin remojo ..... 84 - 87
8. CDP de campo ..... 88 - 97
9. CDP de laboratorio con remojo ..... 98 - 100
10. Diseño de pavimento por AASHTO 101
11. Estudio de tráfico 102
12. Fotografías ..... 103 - 106

GOBIERNO PROVINCIAL DEL AZUAY — **LABORATORIO DE SUELOS**

OBRA	PROGRAMA MEJORAMIENTO VIAL
SOLICITA	ING. JUAN PABLO CARPIO
UBICACIÓN	MINA DE LLATCOM
MATERIAL	DE MEJORAMIENTO
MUESTRA.	NO.1
FECHA.	13-sep-13

CANTON	PARROQUIA	SECTOR

PESO ANTES	25260	gr
PESO DESPUES	25260	gr
PESO SECO REAL.	**24640**	gr

Tamiz No.	Peso retenido	Peso retenido acumulado	% retenido	% que pasa
2	715	**715**	**3**	**97**
1 1/2	1679	**2394**	**10**	**90**
1	2598	**4992**	**20**	**80**
3/4	1903	**6895**	**28**	**72**
3/8	5189	**12084**	**49**	**51**
4	4256	**16340**	**66**	**34**
FONDO	8920			
SUMA	**25260**			

MUESTRA	No.1	MATERIAL FINO

PESO HUMEDO PARA LAVADO	500,00	gr
PESO SECO DESPUES LAVADO	318,52	gr
PESO SECO REAL	**465,25**	gr

Tamiz No.	Peso retenido	Peso retenido acumulado	% retenido	% que pasa
10	136,68	**136,68**	**76**	**24**
40	128,77	**265,45**	**86**	**14**
200	52,57	**318,02**	**89**	**11**
fondo	0,49			
suma	**318,51**			

HUMEDAD PARA GRANULOMETRIA		
No. Tarro	54	37
Peso h+tarro	142,54	133,41
Peso s+tarro	135,49	127,27
Peso tarro	42,93	43,43
% humedad	**7,62**	**7,32**
% Prom. Hum.	**7,47**	

SR. MAURO ESPINOZA S.
LABORATORISTA

ING. JUAN PABLO CARPIO
FISCALIZADOR

Tabla 6.1: Granulometría del material de mejoramiento de la mina de Llatcon

GOBIERNO PROVINCIAL DEL AZUAY **LABORATORIO DE SUELOS**

OBRA PROGRAMA MEJORAMIENTO VIAL
SOLICITA ING. JUAN PABLO CARPIO
UBICACIÓN MINA DE LLATCOM
MATERIAL DE MEJORAMIENTO
MUESTRA. NO.1
FECHA. 13-sep-13

CANTON	PARROQUIA	SECTOR

LIMITES DE ATTERBERG

	LIMITE LIQUIDO				
MERO DE GOLPES	36	32	28	24	16
MERO DEL TARRO	42	41	49	44	56
Mª.HUMEDA + TARRO	59,54	60,98	61,61	62,24	61,23
Mª.SECA + TARRO	54,66	55,78	56,28	56,90	55,38
PESO DEL TARRO	42,97	43,48	43,89	44,76	42,77
% DE HUMEDAD	41,75%	42,28%	43,02%	43,99%	46,39%

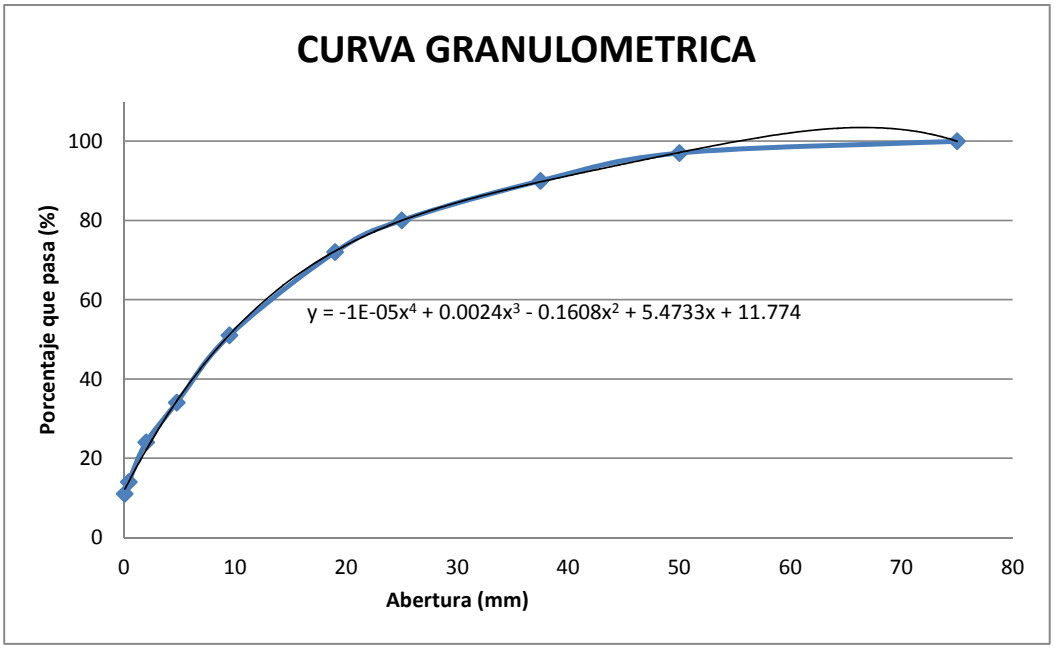
	LIMITE PLASTICO			
NUMERO DEL TARRO	58	47	50	60
Mª.HUMEDA + TARRO	48,00	45,16	46,16	45,91
Mª.SECA + TARRO	47,39	44,74	45,78	45,50
PESO DEL TARRO	45,00	43,12	44,29	43,91
% DE HUMEDAD	25,52%	25,93%	25,50%	25,79%

		Especificacion
LIMITE LIQUIDO	43,85	35%
LIMITE PLASTICO	25,68	
INDICE DE PLASTICIDAD	18,17	9%

SR. MAURO ESPINOZA S.
LABORATORISTA

ING. JUAN PABLO CARPIO
FISCALIZADOR

Tabla 6.2: Límites de Atterberg del material de mejoramiento de la mina de Llatcon



ECUACION	-1.00E-05	0.0024	-0.1608	5.4733	11.774	D
x^	4	3	2	1	0	
0.075	-3.1641E-10	1.0125E-06	-0.0009045	0.4104975	11.774	10
3.712966239	-0.00190057	0.12284974	-2.21680782	20.3221781	11.774	30
12.69759828	-0.25994791	4.91333064	-25.9256235	69.4977647	11.774	60
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	**169.30**		$C_u = \frac{{D_{30}}^2}{D_{10}\, D_{60}}$		**14.48**	

CLASIFICACION		DESCRIPCION
SUCS	GP-GC	GP: Grava mal gradada, mezcla grava - arena , poco o ningún fino.
		GC: Grava arcillosa, mezcla grava - arena, poco o ningún fino
AASHTO	A-2-7	Cascajos y arenas limosas o arcillosas, con fracción fina arcillosa

Tabla 6.3: Clasificación del material de la mina de Llatcon de acuerdo al SUCS y AASHTO

GOBIERNO PROVINCIAL DEL AZUAY — **LABORATORIO DE SUELOS**

OBRA PROGRAMA MEJORAMIENTO VIAL
SOLICITA ING. JUAN PABLO CARPIO
UBICACIÓN MINA DE LLATCOM
MATERIAL DE MEJORAMIENTO
MUESTRA. *No.1*
FECHA. 13-sep-13

RELACION : HUMEDAD - DENSIDAD

No. de capas 5	Golpes por capa 56	Peso del martillo: 6 lbs	Altura de caida: 18 pulg

HUMEDAD

Muestra		1	2	3	4	5
Peso seco deseado para el ensayo						
Humedad añadida en %						
Agua aumentada en cm3		200	300	400	500	100
Nùmero del molde		4	4	4	4	4
Peso molde cilìndrica + suelo hùmedo: (g)	= P1	10956	11147	11081	10983	10665
Peso molde cilìndrico sin collar: (g)	= P2	6465	6465	6465	6465	6465
Peso suelo hùmedo: (g)	P1 - P2 = P3	4491	4682	4616	4518	4200
Volìmen del cilindro sin collar (constante)	V	2127	2127	2127	2127	2127
Densidad hùmeda	D1 = P3 / V (kg/m3)	2,11	2,20	2,17	2,12	1,97

DENSIDAD

Muestras para promediar	1		2		3		4		5	
Nùmero de tarro	74	84	82	104	85	79	62	77	65	89
Peso tarro + suelo hùmedo	183,16	179,12	152,77	159,48	203,29	195,79	233,88	214,11	201,9	201,61
Peso tarro + suelo seco	169,58	165,91	139,99	146,09	184,38	177,55	211,14	192,17	190,06	189,8
Peso de agua	13,58	13,21	12,78	13,39	18,91	18,24	22,74	21,94	11,84	11,81
Peso de tarro	30,13	29,76	29,95	30,76	30,02	29,59	30,4	29,82	30,43	30,93
Peso de suelo seco	139,45	136,15	110,04	115,33	154,36	147,96	180,74	162,35	159,63	158,87
Contenido de agua en %	9,74%	9,70%	11,61%	11,61%	12,25%	12,33%	12,58%	13,51%	7,42%	7,43%
Contenido promedio de agua en %	9,72%		11,61%		12,29%		13,05%		7,43%	
Densidad seca Kg/m3	1920		1970		1930		1880		1830	

PROCTOR: 1970

% DE HUMEDAD : 11,61

SR. MAURO ESPINOZA S.
LABORATORISTA DE SUELOS

ING. JUAN PABLO CARPIO
FISCALIZADOR

Tabla 6.4: Proctor Modificado del material de mejoramiento de la mina de Llatcon

GOBIERNO PROVINCIAL DEL AZUAY

LABORATORIO DE SUELOS

DENSIDADES DE CAMPO

OBRA :	CALLE SEÑOR DE BURGOS
SOLICITA :	ING. JUAN PABLO CARPIO
UBICACIÓN:	CANTON CUENCA - PARROQUIA RICAURTE
PROCTOR :	1980 (MATERIAL DE MEJORAMIENTO)
FECHA :	22-jul-13

	Densidad # 1	Densidad # 2	Densidad # 3	Densidad # 4	Densidad # 5	Densidad # 6	Densidad # 7	Densidad # 8	Densidad # 9
CALLE :	SEÑOR DE BURGOS	SEÑOR DE BURGOS	SEÑOR DE BURGOS	SEÑOR DE BURGOS	SEÑOR DE BURGOS	SEÑOR DE BURGOS	SEÑOR DE BURGOS	SEÑOR DE BURGOS	SEÑOR DE BURGOS
ABCISA Km.	0+000	0+100	0+200	0+300	0+400	0+500	0+600	0+700	0+800
CARRIL :	EJE	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	EJE	DERECHO	IZQUIERDO	EJE
HUMEDAD Kg/m3	202	212	207	179	221	165	210	209	227
HUMEDAD %	**9,4**	**10,1**	**10,4**	**9,1**	**10,6**	**8,5**	**10,1**	**9,6**	**11**
D. HUMEDA Kg /m3	2349	2309	2204	2145	2311	2112	2289	2379	2286
D. SECA Kg /m3	2147	2097	1997	1966	2091	1947	2079	2170	2059
DENSIDAD % (obtenida)	**108,5**	**105,9**	**100,8**	**99,3**	**105,6**	**98,3**	**105**	**109,6**	**104**
DENSIDAD%(especificada)	95	95	95	95	95	95	95	95	95

SR. MAURO ESPINOZA S.
LABORATORISTA DE SUELOS

ING. JUAN PABLO CARPIO
FISCALIZADOR

Tabla 6.5: Densidades de campo de la vía Señor de Burgos

GOBIERNO PROVINCIAL DEL AZUAY
LABORATORIO DE SUELOS
DENSIDADES DE CAMPO

OBRA :	CALLE SEÑOR DE BURGOS
SOLICITA :	ING. JUAN PABLO CARPIO
UBICACIÓN:	CANTON CUENCA - PARROQUIA RICAURTE
PROCTOR :	1980 (MATERIAL DE MEJORAMIENTO)
FECHA :	22-jul-13

	Densidad # 10	Densidad # 11
CALLE :	SEÑOR DE BURGOS	SEÑOR DE BURGOS
ABCISA Km.	0+900	0+932
CARRIL :	DERECHO	IZQUIERDO
HUMEDAD Kg/m3	203	199
HUMEDAD %	**9,5**	**9**
D. HUMEDA Kg /m3	2337	2394
D. SECA Kg /m3	2134	2195
DENSIDAD % (obtenida)	**107,8**	**110,9**
DENSIDAD%(especificada)	95	95

SR. MAURO ESPINOZA S.
LABORATORISTA DE SUELOS

ING. JUAN PABLO CARPIO
FISCALIZADOR

Tabla 6.6: Densidades de campo de la vía Señor de Burgos

ENSAYO DE CBR											
ETAPA DE COMPACTACION Y SATURACION											
Identificación del molde		Molde II		Molde III		Molde IV		Molde IV		Molde IV	
Número de capas		5		5		5		5		5	
Golpes por capa		56		56		56		56		56	
ANTES DEL REMOJO											
Peso molde + suelo humedad optima (gr)		12765		12765		12791		12763		12785	
Peso molde (gr)		8038		8045		8032		8032		8032	
Peso suelo humedad óptima (gr)		4727		4720		4759		4731		4753	
Volúmen molde (cm3)		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.18		2.18		2.20		2.19		2.20	
Humedad inicial (%)	TARRO	49	48	51	58	41	54	54	48	47	55
	Peso tarro + material humedo	139.51	146.53	133.68	119.40	129.48	135.62	138.02	135.52	127.13	133.46
	Peso tarro	43.89	44.34	43.40	45.00	43.48	42.93	42.93	44.34	43.12	43.89
	Peso material humedo	95.62	102.19	90.28	74.40	86.00	92.69	95.09	91.18	84.01	89.57
	Peso tarro + material seco	129.96	137.49	124.51	112.44	120.90	126.78	129.85	127.87	119.09	125.40
	Peso material seco	86.07	93.15	81.11	67.44	77.42	83.85	86.92	83.53	75.97	81.51
	Humedad (%)	11.1%	9.7%	11.3%	10.3%	11.1%	10.5%	9.4%	9.2%	10.6%	9.9%
	Humedad promedio(%)	10.40%		10.81%		10.81%		9.28%		10.24%	
Densidad seca (g/cm³)	PARCIAL	1.98		1.97		1.98		2.00		1.99	
	PROMEDIO	1.99									
DESPUES DEL REMOJO											
Peso molde + suelo humedad optima (gr)		12825		12822		12844		12825		12835	
Peso molde (gr)		8038		8045		8032		8032		8032	
Peso suelo humedad óptima (gr)		4787		4777		4812		4793		4803	
Volúmen molde (cm3)		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.21		2.21		2.22		2.22		2.22	
Humedad final (%)	TARRO	45	52	46	59	55	40	50	47	55	41
	Peso tarro + material	120.51	122.23	121.23	131.14	123.91	121.66	132.63	128.54	120.11	125.75
	Peso tarro	44.18	43.26	43.87	43.64	43.89	43.67	44.29	43.12	43.89	43.48
	Peso material humedo	76.33	78.97	77.36	87.50	80.02	77.99	88.34	85.42	76.22	82.27
	Peso tarro + material seco	111.66	113.14	112.34	121.02	114.67	112.64	123.07	118.79	112.17	117.20
	Peso material seco	67.48	69.88	68.47	77.38	70.78	68.97	78.78	75.67	68.28	73.72
	Humedad (%)	13.1%	13.0%	13.0%	13.1%	13.1%	13.1%	12.1%	12.9%	11.6%	11.6%
	Humedad promedio(%)	13.06%		13.03%		13.07%		12.51%		11.61%	
Densidad seca (g/cm³)	PARCIAL	1.96		1.95		1.97		1.97		1.99	
	PROMEDIO	1.97									
Densidad seca (g/cm³)PROMEDIO ADR Y DDR		1.98									

Tabla 6.7: CBR laboratorio sumergido 56 golpes

ETAPA DE EXPANSION												
TIEMPO	Molde II		Molde III		Molde IV		Molde IV		Molde IV		PROMEDIO	
(min)	(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)	
	acum	parc	acum	parc	acum	parc	acum	parc	acum	parc	acum	parc
1440 min (1 dia)	0.330 mm	0.330 mm	0.203 mm	0.203 mm	0.203 mm	0.203 mm	0.229 mm	0.229 mm	0.178 mm	0.178 mm	0.229 mm	0.229 mm
2880 min (2 dias)	0.330 mm	0.000 mm	0.267 mm	0.064 mm	0.279 mm	0.076 mm	0.305 mm	0.076 mm	0.241 mm	0.064 mm	0.284 mm	0.056 mm
8640 min (3 dias)	0.343 mm	0.013 mm	0.279 mm	0.013 mm	0.279 mm	0.000 mm	0.318 mm	0.013 mm	0.267 mm	0.025 mm	0.297 mm	0.013 mm
5760 min (4 dias)	0.343 mm	0.000 mm	0.279 mm	0.000 mm	0.279 mm	0.000 mm	0.318 mm	0.000 mm	0.267 mm	0.000 mm	0.297 mm	0.000 mm
	0.29%		0.24%		0.24%		0.27%		0.23%		0.26%	

ETAPA DE APLICACIÓN DE PRESION												
Penetración		Molde II		Molde III		Molde IV		Molde IV		Molde IV		PROMEDIO	
(mm)	(pulg)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)
0.00	**0.000**	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592
0.64	**0.025**	55.0	169.023	61.0	187.485	60.0	184.301	55.0	169.023	42.0	129.552	54.6	167.877
1.27	**0.050**	95.0	290.617	100.0	305.896	85.0	260.377	90.0	275.656	88.0	269.608	91.6	280.431
1.91	**0.075**	123.0	375.606	119.0	363.510	105.0	321.175	120.0	366.693	112.0	342.501	115.8	353.897
2.54	**0.100**	146.0	445.316	129.0	394.068	131.0	400.116	136.0	415.076	133.0	406.163	135.0	412.148

INDICE CBR					
Identificación del molde	Molde II	Molde III	Molde IV	Molde IV	Molde IV	PROMEDIO
Penetración (pulg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Presión (lb/pulg²)	445.32	394.07	400.12	415.08	406.16	412.15
C.B.R. (%)	44.50%	39.38%	39.98%	41.48%	40.58%	41.18%
Densidad seca (g/cm³)						1.98

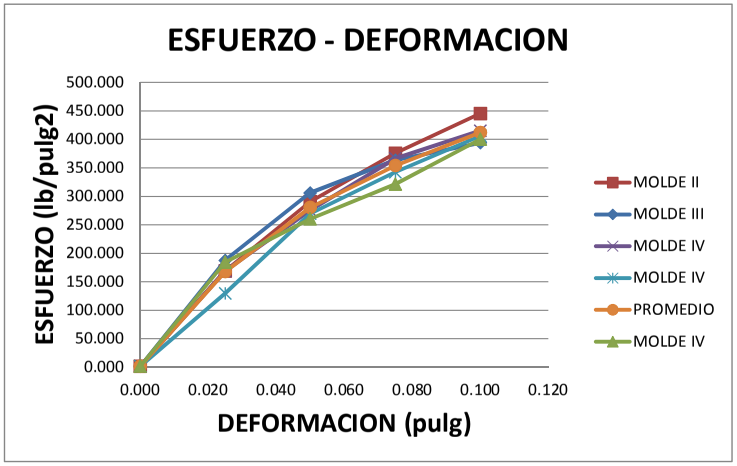


Tabla 6.8: CBR laboratorio sumergido 56 golpes

ETAPA DE COMPACTACION Y SATURACION											
Identificación del molde		Molde I		Molde I		Molde III		Molde I		Molde I	
Número de capas		5		5		5		5		5	
Golpes por capa		25		25		25		25		25	
ANTES DEL REMOJO											
Peso molde + suelo humedad optima (gr)		12645		12653		12707		12643		12617	
Peso molde (gr)		8042		8042		8045		8042		8042	
Peso suelo humedad óptima (gr)		4603		4611		4662		4601		4575	
Volúmen molde (cm3)		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.13		2.13		2.15		2.13		2.11	
Humedad inicial (%)	TARRO	43	41	56	43	51	58	47	50	54	57
	Peso tarro + material humedo	135.82	128.50	130.91	119.65	125.45	131.09	137.23	121.83	122.10	122.86
	Peso tarro	42.19	43.48	42.77	42.19	43.40	45.00	43.12	44.29	42.93	43.48
	Peso material humedo	93.63	85.02	88.14	77.46	82.05	86.09	94.11	77.54	79.17	79.38
	Peso tarro + material seco	126.78	120.33	121.97	112.28	117.87	122.86	128.78	114.17	114.21	115.47
	Peso material seco	84.59	76.85	79.20	70.09	74.47	77.86	85.66	69.88	71.28	71.99
	Humedad (%)	10.7%	10.6%	11.3%	10.5%	10.2%	10.6%	9.9%	11.0%	11.1%	10.3%
	Humedad promedio(%)	10.66%		10.90%		10.37%		10.41%		10.67%	
Densidad seca (g/cm³)	PARCIAL	1.92		1.92		1.95		1.93		1.91	
	PROMEDIO	1.93									
DESPUES DEL REMOJO											
Peso molde + suelo humedad optima (gr)		12724		12729		12770		12725		12709	
Peso molde (gr)		8042		8042		8045		8042		8042	
Peso suelo humedad óptima (gr)		4682		4687		4725		4683		4667	
Volúmen molde (cm3)		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.16		2.17		2.18		2.16		2.16	
Humedad final (%)	TARRO	37	60	38	44	57	39	38	39	40	39
	Peso tarro + material	135.05	141.09	140.27	130.95	135.80	125.50	137.08	143.80	130.97	122.21
	Peso tarro	43.43	43.91	43.55	44.76	43.48	44.11	43.55	44.11	43.67	44.11
	Peso material humedo	91.62	97.18	96.72	86.19	92.32	81.39	93.53	99.69	87.30	78.10
	Peso tarro + material seco	124.55	129.90	129.60	121.27	125.31	115.56	126.11	132.45	120.81	113.03
	Peso material seco	81.12	85.99	86.05	76.51	81.83	71.45	82.56	88.34	77.14	68.92
	Humedad (%)	12.9%	13.0%	12.4%	12.7%	12.8%	13.9%	13.3%	12.8%	13.2%	13.3%
	Humedad promedio(%)	12.98%		12.53%		13.37%		13.07%		13.25%	
Densidad seca (g/cm³)	PARCIAL	1.92		1.93		1.93		1.91		1.90	
	PROMEDIO	1.92									
Densidad seca (g/cm³)PROMEDIO AR Y DR		1.92									

Tabla 6.9: CBR laboratorio sumergido 25 golpes

ETAPA DE EXPANSION												
TIEMPO	Molde I		Molde I		Molde III		Molde I		Molde I		PROMEDIO	
(min)	(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)	
	acum	parc	acum	parc	acum	parc	acum	parc	acum	parc	acum	parc
1440 min (1 dia)	0.305 mm	0.305 mm	0.305 mm	0.305 mm	0.216 mm	0.216 mm	0.229 mm	0.229 mm	0.229 mm	0.229 mm	0.257 mm	0.257 mm
2880 min (2 dias)	0.318 mm	0.013 mm	0.305 mm	0.000 mm	0.254 mm	0.038 mm	0.279 mm	0.051 mm	0.254 mm	0.025 mm	0.282 mm	0.025 mm
8640 min (3 dias)	0.330 mm	0.013 mm	0.305 mm	0.000 mm	0.254 mm	0.000 mm	0.305 mm	0.025 mm	0.254 mm	0.000 mm	0.290 mm	0.008 mm
5760 min (4 dias)	0.330 mm	0.000 mm	0.330 mm	0.025 mm	0.254 mm	0.000 mm	0.305 mm	0.000 mm	0.254 mm	0.000 mm	0.295 mm	0.005 mm
	0.28%		0.28%		0.22%		0.26%		0.22%		0.25%	

ETAPA DE APLICACIÓN DE PRESION												
Penetración		Molde I		Molde I		Molde III		Molde I		Molde I		PROMEDIO	
(mm)	(pulg)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)
0.00	**0.000**	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592
0.64	**0.025**	35.0	108.225	49.0	150.879	30.0	92.946	45.0	138.783	39.0	120.321	39.6	122.231
1.27	**0.050**	65.0	199.580	70.0	214.859	62.0	190.349	71.0	217.724	67.0	205.628	67.0	205.628
1.91	**0.075**	91.0	278.521	100.0	305.896	90.0	275.656	107.0	327.223	104.0	317.992	98.4	301.057
2.54	**0.100**	117.0	357.462	111.0	339.318	120.0	366.693	124.0	378.789	121.0	369.558	118.6	362.364

INDICE CBR						
Identificación del molde	Molde I	Molde I	Molde III	Molde I	Molde I	PROMEDIO
Penetración (pulg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Presión (lb/pulg²)	357.46	339.32	366.69	378.79	369.56	362.36
C.B.R. (%)	35.72%	33.91%	36.64%	37.85%	36.93%	36.21%
Densidad seca (g/cm³)						1.92

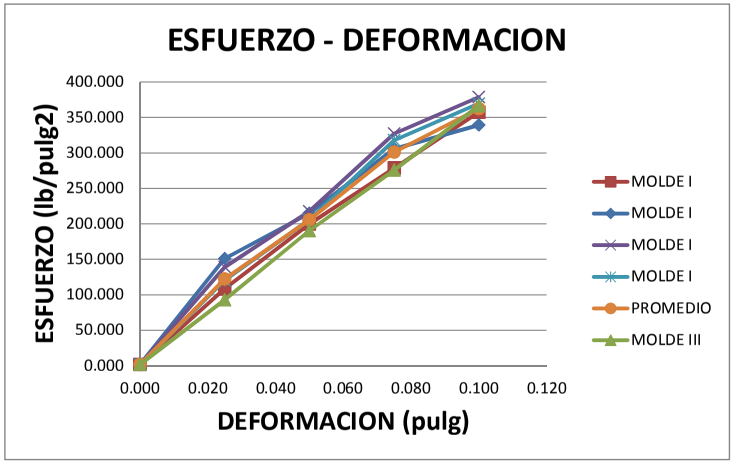


Tabla 6.10: CBR laboratorio sumergido 25 golpes

ETAPA DE COMPACTACION Y SATURACION											
Identificación del molde		Molde IV		Molde II		Molde III		Molde II		Molde II	
Número de capas		5		5		5		5		5	
Golpes por capa		12		12		12		12		12	
ANTES DEL REMOJO											
Peso molde + suelo humedad optima (gr)		12333		12344		12367		12369		12382	
Peso molde (gr)		8032		8038		8045		8038		8038	
Peso suelo humedad óptima (gr)		4301		4306		4322		4331		4344	
Volúmen molde (cm3)		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77	
Densidad húmeda (g/cm³)		1.99		1.99		2.00		2.00		2.01	
Humedad inicial (%)	TARRO	54	56	49	48	49	51	38	44	60	52
	Peso tarro + material humedo	130.52	128.09	119.00	121.43	124.93	119.33	140.69	131.45	124.55	133.51
	Peso tarro	42.93	42.77	43.89	44.34	43.89	43.40	43.55	44.76	43.91	43.26
	Peso material humedo	87.59	85.32	75.11	77.09	81.04	75.93	97.14	86.69	80.64	90.25
	Peso tarro + material seco	121.67	119.53	112.37	114.05	117.10	112.31	130.53	123.13	116.48	124.53
	Peso material seco	78.74	76.76	68.48	69.71	73.21	68.91	86.98	78.37	72.57	81.27
	Humedad (%)	11.2%	11.2%	9.7%	10.6%	10.7%	10.2%	11.7%	10.6%	11.1%	11.0%
	Humedad promedio(%)	11.20%		10.13%		10.44%		11.15%		11.08%	
Densidad seca (g/cm³)	PARCIAL	1.79		1.81		1.81		1.80		1.81	
	PROMEDIO	1.80									
DESPUES DEL REMOJO											
Peso molde + suelo humedad optima (gr)		12490		12508		12519		12510		12520	
Peso molde (gr)		8032		8038		8045		8038		8038	
Peso suelo humedad óptima (gr)		4458		4470		4474		4472		4482	
Volúmen molde (cm3)		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77		2163.77	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.06		2.07		2.07		2.07		2.07	
Humedad final (%)	TARRO	42	53	50	47	44	40	55	57	58	56
	Peso tarro + material	148.08	134.27	168.88	159.37	143.29	144.82	155.70	163.63	129.02	128.53
	Peso tarro	42.97	42.33	44.29	43.12	44.76	43.67	43.89	43.48	45.00	42.77
	Peso material humedo	105.11	91.94	124.59	116.25	98.53	101.15	111.81	120.15	84.02	85.76
	Peso tarro + material seco	136.28	122.89	153.89	145.30	131.03	132.86	141.49	149.00	117.95	117.11
	Peso material seco	93.31	80.56	109.60	102.18	86.27	89.19	97.60	105.52	72.95	74.34
	Humedad (%)	12.6%	14.1%	13.7%	13.8%	14.2%	13.4%	14.6%	13.9%	15.2%	15.4%
	Humedad promedio(%)	13.39%		13.72%		13.81%		14.21%		15.27%	
Densidad seca (g/cm³)	PARCIAL	1.82		1.82		1.82		1.81		1.80	
	PROMEDIO	1.81									
Densidad seca (g/cm³)PROMEDIO AR Y DR		1.81									

Tabla 6.11: CBR laboratorio sumergido 12 golpes

ETAPA DE EXPANSION												
TIEMPO	Molde IV		Molde II		Molde III		Molde II		Molde II		PROMEDIO	
(min)	(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)	
	acum	parc	acum	parc	acum	parc	acum	parc	acum	parc	acum	parc
1440 min (1 dia)	0.495 mm	0.495 mm	0.305 mm	0.305 mm	0.254 mm	0.254 mm	0.229 mm	0.229 mm	0.406 mm	0.406 mm	0.338 mm	0.338 mm
2880 min (2 dias)	0.508 mm	0.013 mm	0.318 mm	0.013 mm	0.381 mm	0.127 mm	0.279 mm	0.051 mm	0.419 mm	0.013 mm	0.381 mm	0.043 mm
8640 min (3 dias)	0.508 mm	0.000 mm	0.330 mm	0.013 mm	0.457 mm	0.076 mm	0.406 mm	0.127 mm	0.432 mm	0.013 mm	0.427 mm	0.046 mm
5760 min (4 dias)	0.508 mm	0.000 mm	0.457 mm	0.127 mm	0.457 mm	0.000 mm	0.457 mm	0.051 mm	0.432 mm	0.000 mm	0.462 mm	0.036 mm
	0.44%		0.39%				0.39%		0.37%		0.40%	

f

ETAPA DE APLICACIÓN DE PRESION												
Penetración		Molde IV		Molde II		Molde III		Molde II		Molde II		PROMEDIO	
(mm)	(pulg)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)
0.00	**0.000**	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.592
0.64	**0.025**	27.0	83.716	25.0	77.668	22.0	68.437	25.0	77.668	24.0	74.803	24.6	76.458
1.27	**0.050**	47.0	144.831	50.0	154.062	46.0	141.648	45.0	138.783	48.0	147.696	47.2	145.404
1.91	**0.075**	59.0	181.437	63.0	193.532	60.0	184.301	57.0	175.070	59.0	181.437	59.6	183.156
2.54	**0.100**	72.0	220.907	80.0	245.099	79.0	242.234	70.0	214.859	71.0	217.724	74.4	228.165

INDICE CBR						
Identificación del molde	Molde IV	Molde II	Molde III	Molde II	Molde II	PROMEDIO
Penetración (pulg)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Presión (lb/pulg²)	220.91	245.10	242.23	214.86	217.72	228.16
C.B.R. (%)	22.07%	24.49%	24.20%	21.47%	21.76%	22.80%
Densidad seca (g/cm³)						1.81

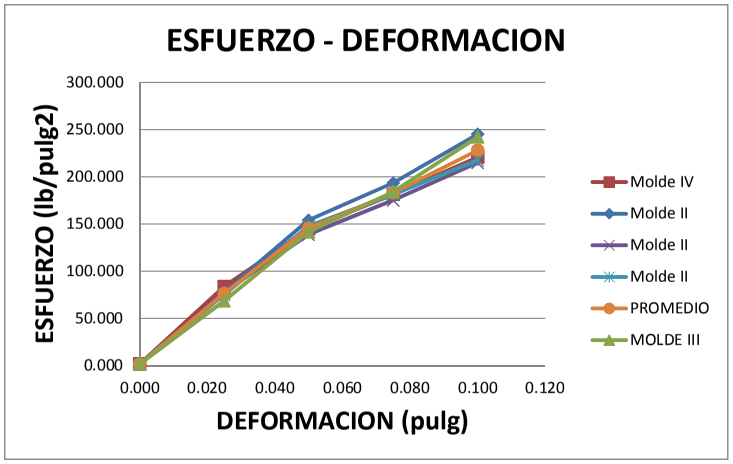
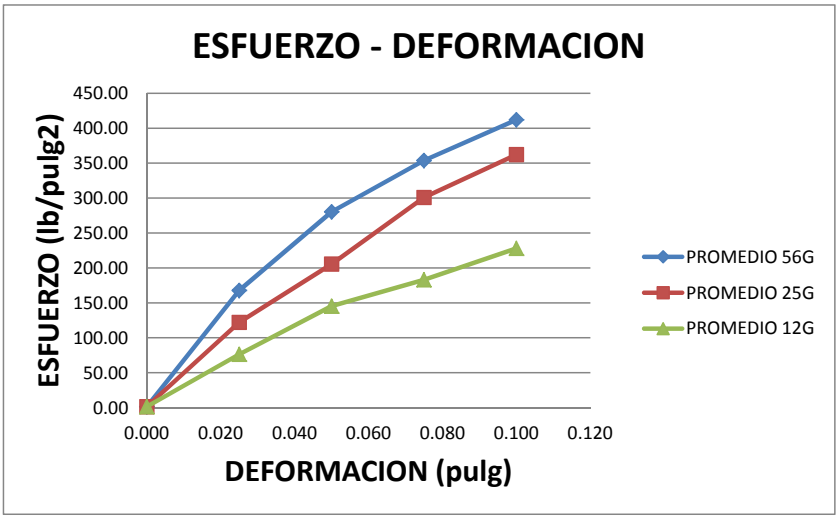


Tabla 6.12: CBR laboratorio sumergido 12 golpes

ETAPA DE APLICACIÓN DE PRESION							
Penetración		PROMEDIO 56G		PROMEDIO 25G		PROMEDIO 12G	
(mm)	(pulg)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)
0.00	**0.000**	0.00	1.59	0.00	1.59	0.00	1.59
0.64	**0.025**	54.60	167.88	39.60	122.23	24.60	76.46
1.27	**0.050**	91.60	280.43	67.00	205.63	47.20	145.40
1.91	**0.075**	115.80	353.90	98.40	301.06	59.60	183.16
2.54	**0.100**	135.00	412.15	118.60	362.36	74.40	228.16



INDICE CBR			
Identificación del molde	**PROMEDIO 56G**	**PROMEDIO 25G**	**PROMEDIO 12G**
Penetración (pulg)	0.1	0.1	0.1
Presión (lb/pulg²)	412.15	362.36	228.16
C.B.R. (%)	41.18%	36.21%	22.80%
Densidad seca (g/cm³)	1.98	1.92	1.81

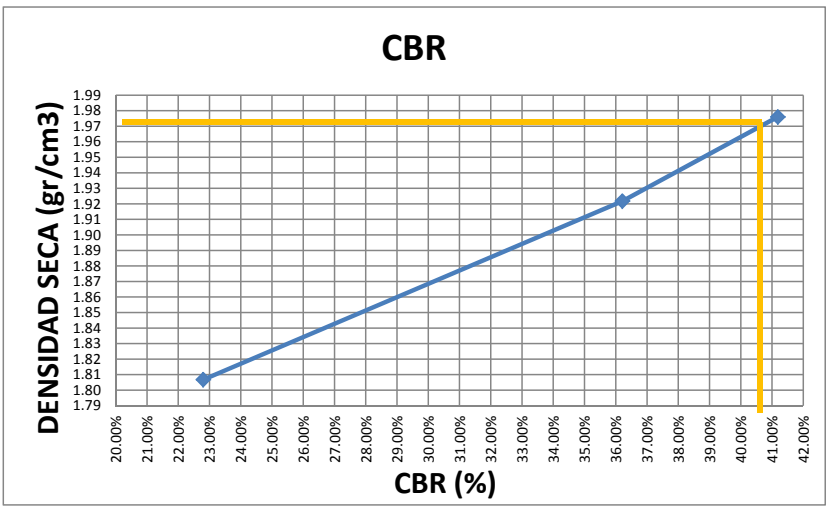


Tabla 6.13: Ensayo CBR laboratorio sumergido general

ETAPA DE COMPACTACION					
Identificación del molde		**Molde III**		**Molde III**	
Número de capas		5		5	
Golpes por capa		56		56	
Peso molde + suelo humedad optima (gr)		12892		12812	
Peso molde (gr)		8045		8045	
Peso suelo humedad óptima (gr)		4847		4767	
Volúmen molde (cm3)		2163.77		2163.77	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.24		2.20	
Humedad inicial (%)	**TARRO**	42	44	57	39
	Peso tarro + material humedo	105.64	115.70	127.53	142.33
	Peso tarro	42.97	44.76	43.48	44.11
	Peso material humedo	62.67	70.94	84.05	98.22
	Peso tarro + material seco	98.72	107.97	118.79	132.01
	Peso material seco	55.75	63.21	75.31	87.90
	Humedad (%)	12.4%	12.2%	11.6%	11.7%
	Humedad promedio(%)	12.32%		11.67%	
Humedad (%)		12.32%		11.67%	
Densidad seca (g/cm³)		1.99		1.97	
Densidad seca (g/cm³) Promedio		1.98			

ETAPA DE APLICACIÓN DE PRESION							
Penetración		**Molde III**		**Molde III**		**PROMEDIO**	
(mm)	**(pulg)**	**(lb/pulg²)**		**(lb/pulg²)**		**(lb/pulg²)**	
0.00	**0.000**	0.0	3.183	0.0	3.183	0.0	3.2
0.64	**0.025**	41.0	127.324	52.0	162.338	46.5	144.8
1.27	**0.050**	73.0	226.000	91.0	280.113	82.0	253.1
1.91	**0.075**	107.0	327.859	129.0	394.704	118.0	361.3
2.54	**0.100**	147.0	448.817	140.0	429.718	143.5	439.3

INDICE CBR			
Identificación del molde	**Molde III**	**Molde III**	**PROMEDIO**
Penetración (pulg)	0.1	0.1	0.1
Presión (lb/pulg²)	448.82	429.72	439.27
C.B.R. (%)	44.85%	42.94%	43.89%
Densidad seca (g/cm³)	1.99	1.97	1.98

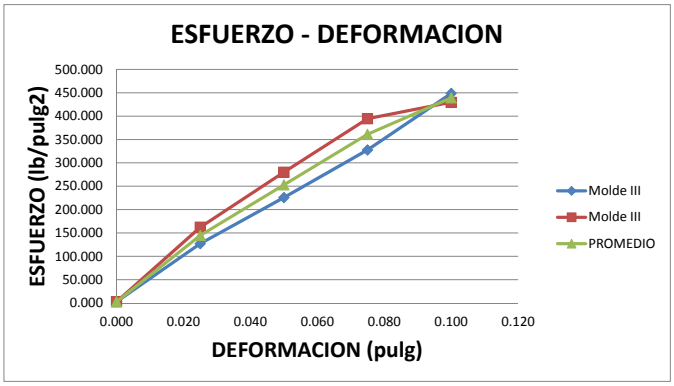


Tabla 6.14: CBR laboratorio no sumergido 56 golpes

ETAPA DE COMPACTACION					
Identificación del molde		**Molde II**		**Molde II**	
Número de capas		5		5	
Golpes por capa		25		25	
Peso molde + suelo humedad optima (gr)		12713		12680	
Peso molde (gr)		8045		8035	
Peso suelo humedad óptima (gr)		4668		4645	
Volúmen molde (cm3)		2163.77		2163.77	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.16		2.15	
Humedad inicial (%)	**TARRO**	54	47	59	41
	Peso tarro + material humedo	113.80	126.40	115.71	119.08
	Peso tarro	42.93	43.12	43.64	43.48
	Peso material humedo	70.87	83.28	72.07	75.60
	Peso tarro + material seco	105.96	117.54	107.89	111.37
	Peso material seco	63.03	74.42	64.25	67.89
	Humedad (%)	12.4%	11.9%	12.2%	11.4%
	Humedad promedio(%)	12.17%		11.76%	
Humedad (%)		12.17%		11.76%	
Densidad seca (g/cm³)		1.92		1.92	
Densidad seca (g/cm³) Promedio		1.92			

ETAPA DE APLICACIÓN DE PRESION							
Penetración		**Molde II**		**Molde II**		**PROMEDIO**	
(mm)	**(pulg)**	**(lb/pulg²)**		**(lb/pulg²)**		**(lb/pulg²)**	
0.00	**0.000**	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.6
0.64	**0.025**	33.0	102.177	49.0	150.879	41.0	126.5
1.27	**0.050**	70.0	216.451	77.0	238.732	73.5	227.6
1.91	**0.075**	96.0	296.028	100.0	308.761	98.0	302.4
2.54	**0.100**	121.0	372.423	125.0	381.972	123.0	377.2

INDICE CBR			
Identificación del molde	**Molde II**	**Molde II**	**PROMEDIO**
Penetración (pulg)	0.1	0.1	0.1
Presión (lb/pulg²)	372.42	381.97	377.20
C.B.R. (%)	37.21%	38.17%	37.69%
Densidad seca (g/cm³)	1.92	1.92	1.92

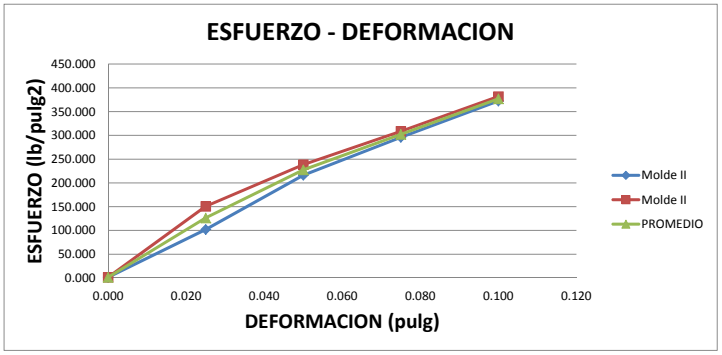


Tabla 6.15: CBR laboratorio no sumergido 25 golpes

ETAPA DE COMPACTACION					
Identificación del molde		**Molde I**		**Molde I**	
Número de capas		5		5	
Golpes por capa		12		12	
Peso molde + suelo humedad optima (gr)		12406		12432	
Peso molde (gr)		8030		8045	
Peso suelo humedad óptima (gr)		4376		4387	
Volúmen molde (cm3)		2163.77		2163.77	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.02		2.03	
Humedad inicial (%)	**TARRO**	65	79	84	77
	Peso tarro + material humedo	107.39	108.18	103.84	125.14
	Peso tarro	30.43	29.59	29.76	29.82
	Peso material humedo	76.96	78.59	74.08	95.32
	Peso tarro + material seco	99.88	100.15	96.58	116.29
	Peso material seco	69.45	70.56	66.82	86.47
	Humedad (%)	10.8%	11.4%	10.9%	10.2%
	Humedad promedio(%)	11.10%		10.55%	
Humedad (%)		11.10%		10.55%	
Densidad seca (g/cm³)		1.82		1.83	
Densidad seca (g/cm³) Promedio		1.83			

ETAPA DE APLICACIÓN DE PRESION							
Penetración		**Molde I**		**Molde I**		**PROMEDIO**	
(mm)	**(pulg)**	**X0.0001pulg**	**(lb/pulg²)**	**X0.0001pulg**	**(lb/pulg²)**	**(lb/pulg²)**	
0.00	**0.000**	0.0	1.592	0.0	1.592	0.0	1.6
0.64	**0.025**	35.0	108.225	31.0	96.130	33.0	102.2
1.27	**0.050**	57.0	175.070	58.0	178.254	57.5	176.7
1.91	**0.075**	76.0	233.003	77.0	236.186	76.5	234.6
2.54	**0.100**	96.0	293.800	95.0	290.617	95.5	292.2

INDICE CBR			
Identificación del molde	**Molde I**	**Molde I**	**PROMEDIO**
Penetración (pulg)	0.1	0.1	0.1
Presión (lb/pulg²)	293.80	290.62	292.21
C.B.R. (%)	29.36%	29.04%	29.20%
Densidad seca (g/cm³)	1.82	1.83	1.83

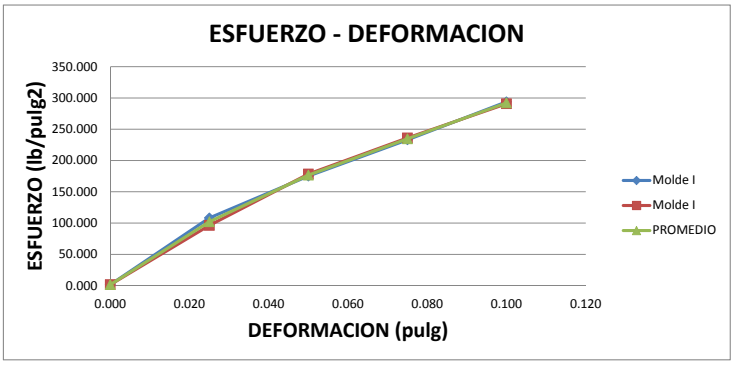
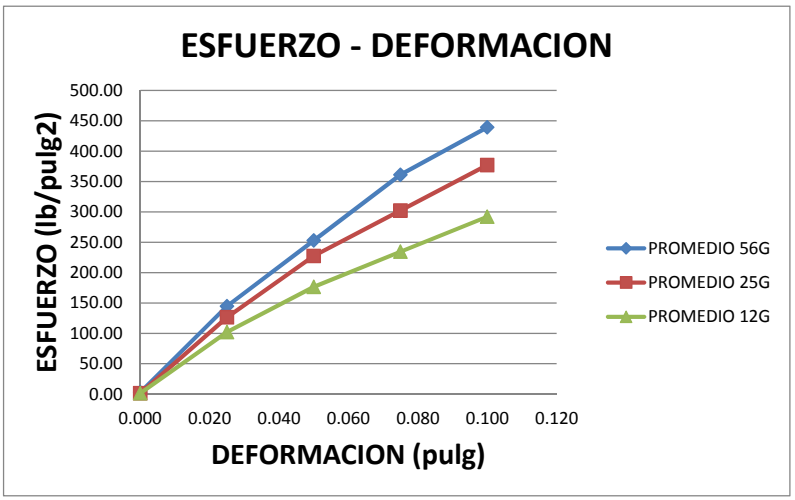


Tabla 6.16: CBR laboratorio no sumergido 12 golpes

ETAPA DE APLICACIÓN DE PRESION							
Penetración		PROMEDIO 56G		PROMEDIO 25G		PROMEDIO 12G	
(mm)	(pulg)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)	X0.0001pulg	(lb/pulg²)
0.00	**0.000**	0.00	3.18	0.00	1.59	0.00	1.59
0.64	**0.025**	46.50	144.83	41.00	126.53	33.00	102.18
1.27	**0.050**	82.00	253.06	73.50	227.59	57.50	176.66
1.91	**0.075**	118.00	361.28	98.00	302.39	76.50	234.59
2.54	**0.100**	143.50	439.27	123.00	377.20	95.50	292.21



INDICE CBR			
Identificación del molde	**PROMEDIO 56G**	**PROMEDIO 25G**	**PROMEDIO 12G**
Penetración (pulg)	0.1	0.1	0.1
Presión (lb/pulg²)	439.27	377.20	292.21
C.B.R. (%)	43.89%	37.69%	29.20%
Densidad seca (g/cm³)	1.98	1.92	1.83

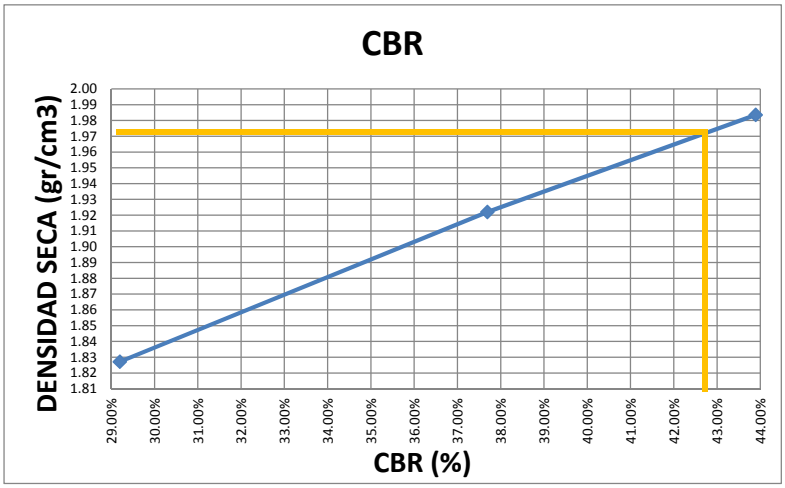


Tabla 6.17: Ensayo CBR laboratorio no sumergido general

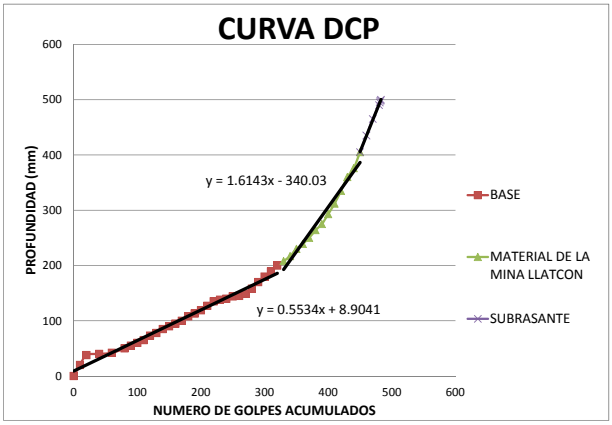
ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+000

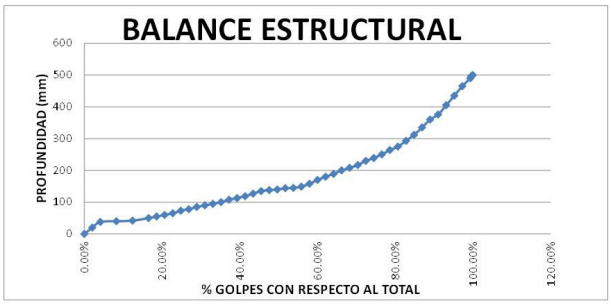
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	414	0	0	0.00%
10	10	435	21	21	2.33%
20	10	445	31	10	4.65%
30	10	450	36	5	6.98%
40	10	455	41	5	9.30%
50	10	460	46	5	11.63%
60	10	465	51	5	13.95%
70	10	470	56	5	16.28%
80	10	476	62	6	18.60%
90	10	479	65	3	20.93%
100	10	483	69	4	23.26%
110	10	490	76	7	25.58%
120	10	492	78	2	27.91%
130	10	495	81	3	30.23%
140	10	497	83	2	32.56%
150	10	498	84	1	34.88%
160	10	500	86	2	37.21%
170	10	504	90	4	39.53%
180	10	509	95	5	41.86%
190	10	510	96	1	44.19%
200	10	511	97	1	46.51%
210	10	512	98	1	48.84%
220	10	520	106	8	51.16%
230	10	526	112	6	53.49%
240	10	534	120	8	55.81%
250	10	540	126	6	58.14%
260	10	550	136	10	60.47%
270	10	560	146	10	62.79%
280	10	575	161	15	65.12%
290	10	590	176	15	67.44%
300	10	612	198	22	69.77%
310	10	630	216	18	72.09%
320	10	650	236	20	74.42%
330	10	665	251	15	76.74%
340	10	680	266	15	79.07%
350	10	690	276	10	81.40%
360	10	700	286	10	83.72%
370	10	715	301	15	86.05%
380	10	730	316	15	88.37%
390	10	750	336	20	90.70%
400	10	770	356	20	93.02%
410	10	803	389	33	95.35%
420	10	849	435	46	97.67%
430	10	975	561	126	100.00%

Tabla 6.18: Resultado del ensayo del Cono Dinámico de Penetración in situ.

ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+100

NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	PENETRACION POR GOLPE (mm/GOLPE)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	430	0	0	0.00	0.00%
10	10	450	20	20	2.00	2.07%
20	10	468	38	18	1.80	4.14%
40	20	470	40	2	0.10	8.28%
60	20	472	42	2	0.10	12.42%
80	20	480	50	8	0.40	16.56%
90	10	485	55	5	0.50	18.63%
100	10	490	60	5	0.50	20.70%
110	10	495	65	5	0.50	22.77%
120	10	503	73	8	0.80	24.84%
130	10	508	78	5	0.50	26.92%
140	10	515	85	7	0.70	28.99%
150	10	520	90	5	0.50	31.06%
160	10	525	95	5	0.50	33.13%
170	10	530	100	5	0.50	35.20%
180	10	538	108	8	0.80	37.27%
190	10	543	113	5	0.50	39.34%
200	10	549	119	6	0.60	41.41%
210	10	557	127	8	0.80	43.48%
220	10	565	135	8	0.80	45.55%
230	10	568	138	3	0.30	47.62%
240	10	570	140	2	0.20	49.69%
250	10	574	144	4	0.40	51.76%
260	10	575	145	1	0.10	53.83%
270	10	579	149	4	0.40	55.90%
280	10	588	158	9	0.90	57.97%
290	10	600	170	12	1.20	60.04%
300	10	610	180	10	1.00	62.11%
310	10	619	189	9	0.90	64.18%
320	10	630	200	11	1.10	66.25%
330	10	638	208	8	0.80	68.32%
340	10	647	217	9	0.90	70.39%
350	10	660	230	13	1.30	72.46%
360	10	669	239	9	0.90	74.53%
370	10	680	250	11	1.10	76.60%
380	10	694	264	14	1.40	78.67%
390	10	705	275	11	1.10	80.75%
400	10	723	293	18	1.80	82.82%
410	10	742	312	19	1.90	84.89%
420	10	765	335	23	2.30	86.96%
430	10	790	360	25	2.50	89.03%
440	10	806	376	16	1.60	91.10%
450	10	835	405	29	2.90	93.17%
460	10	865	435	30	3.00	95.24%
470	10	895	465	30	3.00	97.31%
480	10	920	490	25	2.50	99.38%
481	1	925	495	5	5.00	99.59%
482	1	928	498	3	3.00	99.79%
483	1	930	500	2	2.00	100.00%





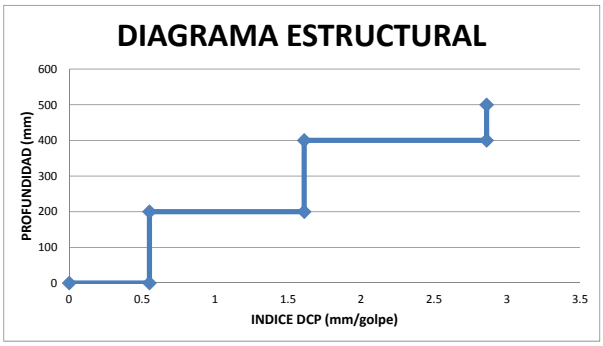
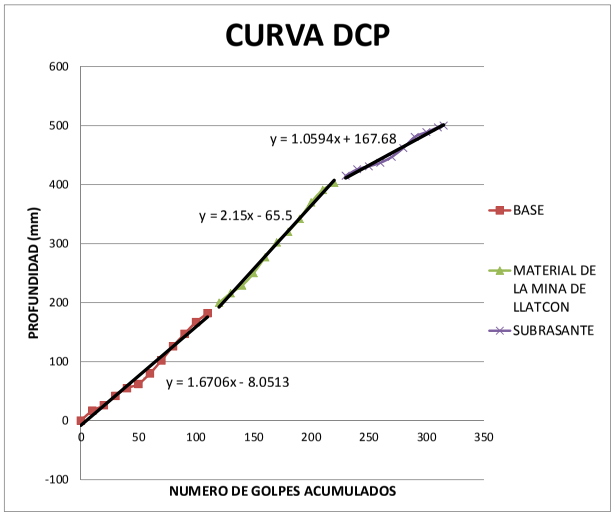


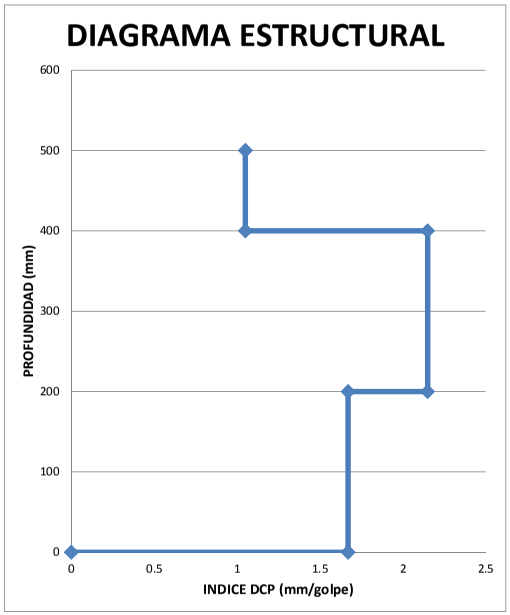


Tabla 6.19: DCP in situ 0+000 vía Señor de Burgos.

ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+200

NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	418	0	0	0.00%
10	10	435	17	17	3.17%
20	10	444	26	9	6.35%
30	10	460	42	16	9.52%
40	10	473	55	13	12.70%
50	10	480	62	7	15.87%
60	10	498	80	18	19.05%
70	10	520	102	22	22.22%
80	10	544	126	24	25.40%
90	10	565	147	21	28.57%
100	10	585	167	20	31.75%
110	10	600	182	15	34.92%
120	10	618	200	18	38.10%
130	10	634	216	16	41.27%
140	10	647	229	13	44.44%
150	10	668	250	21	47.62%
160	10	695	277	27	50.79%
170	10	720	302	25	53.97%
180	10	738	320	18	57.14%
190	10	760	342	22	60.32%
200	10	788	370	28	63.49%
210	10	809	391	21	66.67%
220	10	821	403	12	69.84%
230	10	833	415	12	73.02%
240	10	844	426	11	76.19%
250	10	849	431	5	79.37%
260	10	855	437	6	82.54%
270	10	865	447	10	85.71%
280	10	880	462	15	88.89%
290	10	899	481	19	92.06%
300	10	907	489	8	95.24%
310	10	915	497	8	98.41%
315	5	918	500	3	100.00%





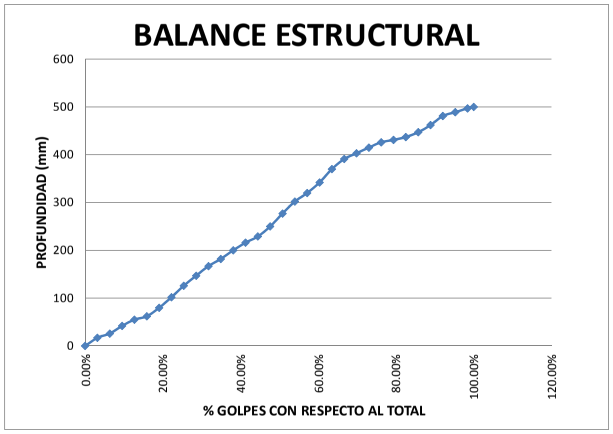




Tabla 6.20: Resultado del ensayo del Cono Dinámico de Penetración in situ.

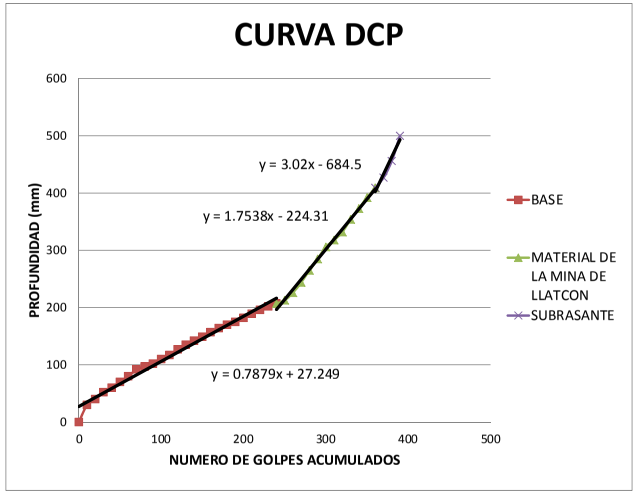
ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+300

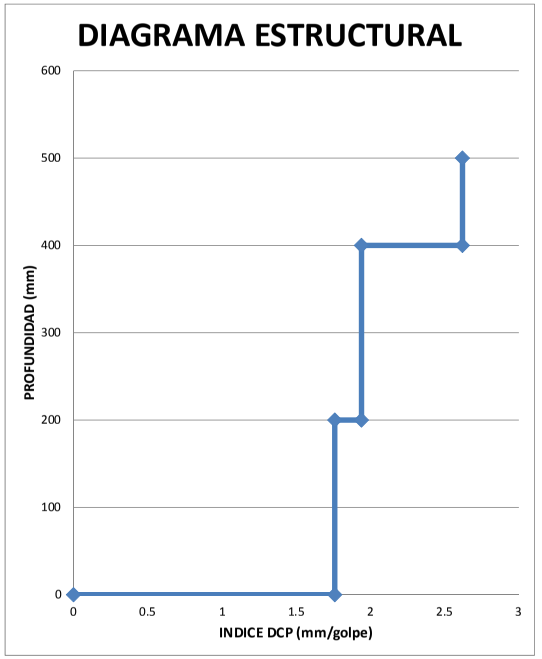
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	415	0	0	0.00%
10	10	439	24	24	3.97%
20	10	457	42	18	7.94%
30	10	470	55	13	11.90%
40	10	486	71	16	15.87%
50	10	505	90	19	19.84%
60	10	524	109	19	23.81%
70	10	537	122	13	27.78%
80	10	554	139	17	31.75%
90	10	575	160	21	35.71%
100	10	597	182	22	39.68%
110	10	615	200	18	43.65%
120	10	630	215	15	47.62%
130	10	649	234	19	51.59%
140	10	671	256	22	55.56%
150	10	690	275	19	59.52%
160	10	703	288	13	63.49%
170	10	725	310	22	67.46%
180	10	747	332	22	71.43%
190	10	765	350	18	75.40%
200	10	787	372	22	79.37%
210	10	805	390	18	83.33%
220	10	835	420	30	87.30%
230	10	865	450	30	91.27%
240	10	893	478	28	95.24%
250	10	911	496	18	99.21%
252	2	915	500	4	100.00%

Tabla 6.21: Resultado del ensayo del Cono Dinámico de Penetración in situ.

ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+400

NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	418	0	0	0.00%
10	10	448	30	30	2.56%
20	10	458	40	10	5.13%
30	10	470	52	12	7.69%
40	10	478	60	8	10.26%
50	10	488	70	10	12.82%
60	10	498	80	10	15.38%
70	10	510	92	12	17.95%
80	10	515	97	5	20.51%
90	10	520	102	5	23.08%
100	10	528	110	8	25.64%
110	10	535	117	7	28.21%
120	10	545	127	10	30.77%
130	10	553	135	8	33.33%
140	10	560	142	7	35.90%
150	10	567	149	7	38.46%
160	10	575	157	8	41.03%
170	10	582	164	7	43.59%
180	10	588	170	6	46.15%
190	10	593	175	5	48.72%
200	10	600	182	7	51.28%
210	10	607	189	7	53.85%
220	10	614	196	7	56.41%
230	10	620	202	6	58.97%
240	10	625	207	5	61.54%
250	10	631	213	6	64.10%
260	10	644	226	13	66.67%
270	10	662	244	18	69.23%
280	10	683	265	21	71.79%
290	10	703	285	20	74.36%
300	10	724	306	21	76.92%
310	10	736	318	12	79.49%
320	10	750	332	14	82.05%
330	10	772	354	22	84.62%
340	10	791	373	19	87.18%
350	10	810	392	19	89.74%
360	10	827	409	17	92.31%
370	10	845	427	18	94.87%
380	10	874	456	29	97.44%
390	10	918	500	44	100.00%





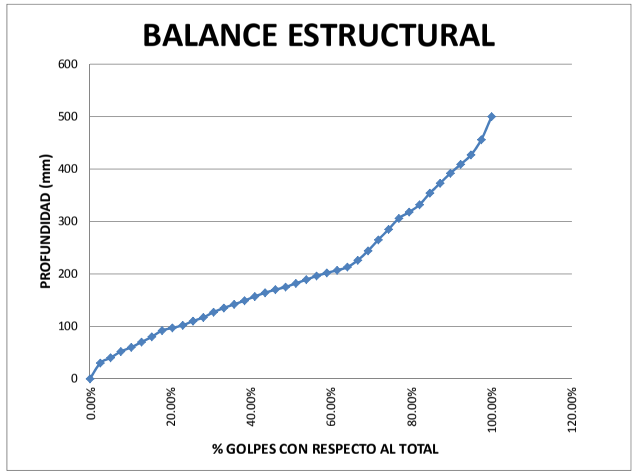
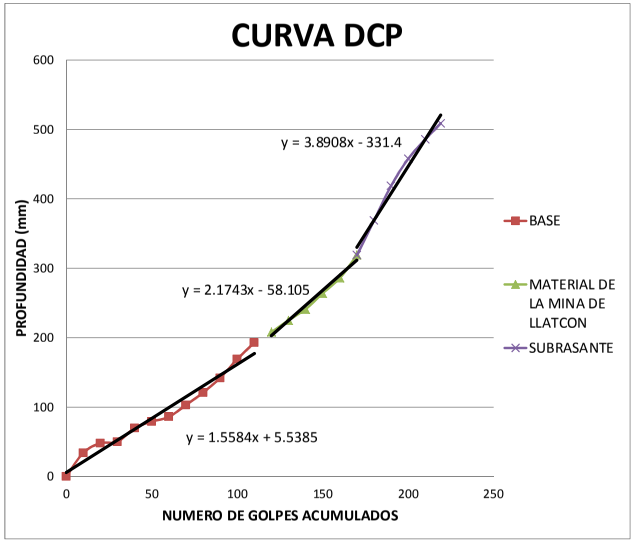


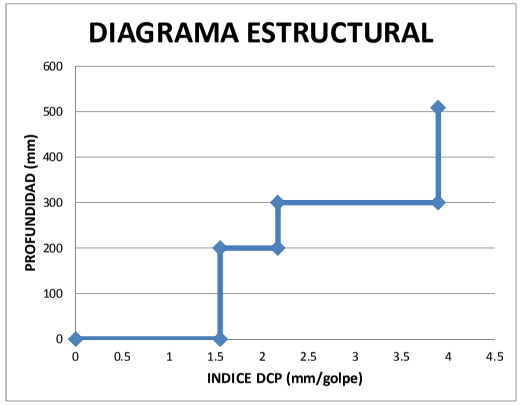


Tabla 6.22: Resultado del ensayo del Cono Dinámico de Penetración in situ.

ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+500

NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	423	0	0	0.00%
10	10	448	34	25	4.57%
20	10	462	48	14	9.13%
30	10	464	50	2	13.70%
40	10	484	70	20	18.26%
50	10	493	79	9	22.83%
60	10	500	86	7	27.40%
70	10	517	103	17	31.96%
80	10	535	121	18	36.53%
90	10	556	142	21	41.10%
100	10	583	169	27	45.66%
110	10	607	193	24	50.23%
120	10	622	208	15	54.79%
130	10	639	225	17	59.36%
140	10	655	241	16	63.93%
150	10	678	264	23	68.49%
160	10	700	286	22	73.06%
170	10	733	319	33	77.63%
180	10	783	369	50	82.19%
190	10	833	419	50	86.76%
200	10	872	458	39	91.32%
210	10	900	486	28	95.89%
219	9	923	509	23	100.00%





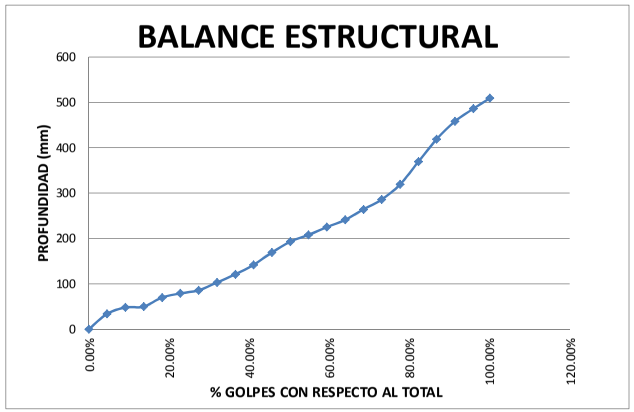




Tabla 6.23: Resultado del ensayo del Cono Dinámico de Penetración in situ.

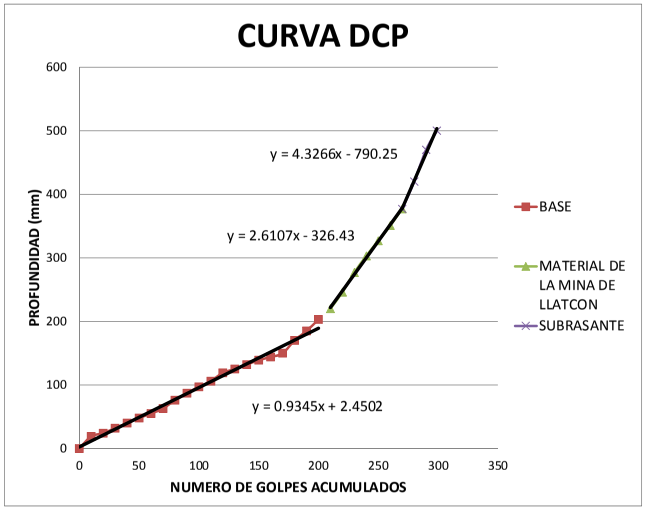
ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+600

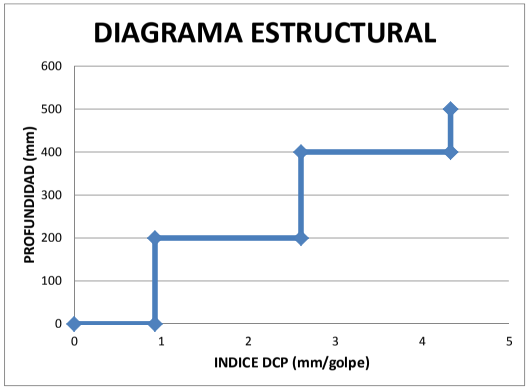
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	413	0	0	0.00%
10	10	437	24	24	3.85%
20	10	460	47	23	7.69%
30	10	485	72	25	11.54%
40	10	500	87	15	15.38%
50	10	515	102	15	19.23%
60	10	530	117	15	23.08%
70	10	547	134	17	26.92%
80	10	560	147	13	30.77%
90	10	571	158	11	34.62%
100	10	588	175	17	38.46%
110	10	603	190	15	42.31%
120	10	620	207	17	46.15%
130	10	639	226	19	50.00%
140	10	660	247	21	53.85%
150	10	683	270	23	57.69%
160	10	714	301	31	61.54%
170	10	749	336	35	65.38%
180	10	770	357	21	69.23%
190	10	782	369	12	73.08%
200	10	795	382	13	76.92%
210	10	814	401	19	80.77%
220	10	833	420	19	84.62%
230	10	855	442	22	88.46%
240	10	875	462	20	92.31%
250	10	895	482	20	96.15%
260	10	923	510	28	100.00%

Tabla 6.24: Resultado del ensayo del Cono Dinámico de Penetración in situ.

ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+700

NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	420	0	0	0.00%
10	10	439	19	19	3.34%
20	10	444	24	5	6.69%
30	10	452	32	8	10.03%
40	10	460	40	8	13.38%
50	10	468	48	8	16.72%
60	10	475	55	7	20.07%
70	10	483	63	8	23.41%
80	10	496	76	13	26.76%
90	10	507	87	11	30.10%
100	10	517	97	10	33.44%
110	10	526	106	9	36.79%
120	10	539	119	13	40.13%
130	10	545	125	6	43.48%
140	10	552	132	7	46.82%
150	10	559	139	7	50.17%
160	10	564	144	5	53.51%
170	10	570	150	6	56.86%
180	10	590	170	20	60.20%
190	10	605	185	15	63.55%
200	10	623	203	18	66.89%
210	10	640	220	17	70.23%
220	10	666	246	26	73.58%
230	10	697	277	31	76.92%
240	10	723	303	26	80.27%
250	10	747	327	24	83.61%
260	10	771	351	24	86.96%
270	10	797	377	26	90.30%
280	10	840	420	43	93.65%
290	10	890	470	50	96.99%
299	9	920	500	30	100.00%





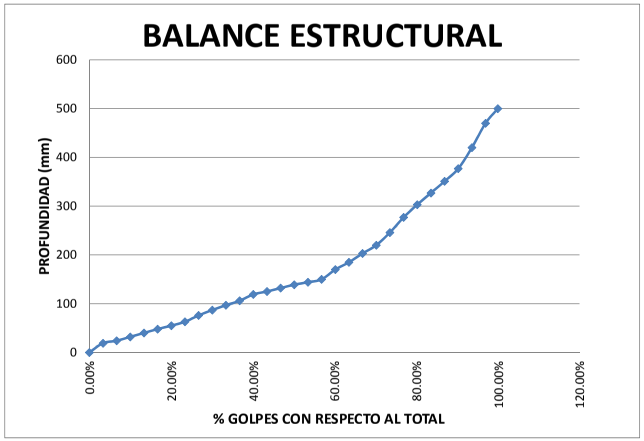




Tabla 6.25: Resultado del ensayo del Cono Dinámico de Penetración in situ.

ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+800

NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	415	0	0	0.00%
10	10	444	29	29	5.13%
20	10	460	45	16	10.26%
30	10	470	55	10	15.38%
40	10	480	65	10	20.51%
50	10	490	75	10	25.64%
60	10	503	88	13	30.77%
70	10	518	103	15	35.90%
80	10	533	118	15	41.03%
90	10	560	145	27	46.15%
100	10	579	164	19	51.28%
110	10	596	181	17	56.41%
120	10	620	205	24	61.54%
130	10	653	238	33	66.67%
140	10	674	259	21	71.79%
150	10	703	288	29	76.92%
160	10	742	327	39	82.05%
170	10	792	377	50	87.18%
180	10	843	428	51	92.31%
190	10	895	480	52	97.44%
195	5	915	500	20	100.00%

Tabla 6.26: Resultado del ensayo del Cono Dinámico de Penetración in situ.

ENSAYO DCP IN SITU EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFALTICO A NIVEL DE MATERIAL DE BASE GRANULAR EN LA VIA SEÑOR DE BURGOS ABSCISA 0+900

NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	%GOLPES / GOLPES TOT
0	0	414	0	0	0.00%
5	5	429	15	15	1.52%
15	10	443	29	14	4.55%
25	10	449	35	6	7.58%
35	10	454	40	5	10.61%
45	10	463	49	9	13.64%
55	10	473	59	10	16.67%
65	10	479	65	6	19.70%
75	10	486	72	7	22.73%
85	10	495	81	9	25.76%
95	10	505	91	10	28.79%
105	10	513	99	8	31.82%
115	10	520	106	7	34.85%
125	10	530	116	10	37.88%
135	10	540	126	10	40.91%
145	10	553	139	13	43.94%
155	10	565	151	12	46.97%
165	10	580	166	15	50.00%
175	10	600	186	20	53.03%
185	10	620	206	20	56.06%
195	10	635	221	15	59.09%
205	10	649	235	14	62.12%
215	10	660	246	11	65.15%
225	10	671	257	11	68.18%
235	10	685	271	14	71.21%
245	10	700	286	15	74.24%
255	10	720	306	20	77.27%
265	10	735	321	15	80.30%
275	10	755	341	20	83.33%
285	10	780	366	25	86.36%
295	10	805	391	25	89.39%
305	10	833	419	28	92.42%
315	10	868	454	35	95.45%
325	10	900	486	32	98.48%
330	5	930	516	30	100.00%

Tabla 6.27: Resultado del ensayo del Cono Dinámico de Penetración in situ.

ENSAYO DCP DE LABORATORIO REALIZADO EN MUESTRAS ELADORADAS AL 100% DENSIDAD SECA MAXIMA DEL PROCTOR MODIFICADO - 56 GOLPES POR CAPA EN 5 CAPAS

PENETRACION DCP MUESTRA1. (100%DSM -56 GOLPES)						
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmXGOLPE)
0	0	1088	0	0	0.00	
1	1	1101	13	13	13.00	
2	1	1110	22	9	9.00	
3	1	1120	32	10	10.00	
4	1	1130	42	10	10.00	
5	1	1137	49	7	7.00	
6	1	1144	56	7	7.00	
7	1	1153	65	9	9.00	
8	1	1160	72	7	7.00	
9	1	1168	80	8	8.00	
10	1	1176	88	8	8.00	

PENETRACION DCP MUESTRA2. (100%DSM -56 GOLPES)						
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmXGOLPE)
0	0	1090	0	0	0.00	
1	1	1101	11	11	11.00	
2	1	1112	22	11	11.00	
3	1	1121	31	9	9.00	
4	1	1131	41	10	10.00	
5	1	1140	50	9	9.00	
6	1	1150	60	10	10.00	
7	1	1158	68	8	8.00	
8	1	1165	75	7	7.00	
9	1	1174	84	9	9.00	

PENETRACION DCP MUESTRA3. (100%DSM -56 GOLPES)						
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmXGOLPE)
0	0	1087	0	0	0.00	
1	1	1097	10	10	10.00	
2	1	1106	19	9	9.00	
3	1	1116	29	10	10.00	
4	1	1125	38	9	9.00	
5	1	1135	48	10	10.00	
6	1	1144	57	9	9.00	
7	1	1152	65	8	8.00	
8	1	1160	73	8	8.00	
9	1	1167	80	7	7.00	
10	1	1176	89	9	9.00	

PENETRACION DCP MUESTRA4. (100%DSM -56 GOLPES)						
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmXGOLPE)
0	0	1085	0	0	0.00	
1	1	1096	11	11	11.00	
2	1	1105	20	9	9.00	
3	1	1114	29	9	9.00	
4	1	1124	39	10	10.00	
5	1	1132	47	8	8.00	
6	1	1141	56	9	9.00	
7	1	1150	65	9	9.00	
8	1	1157	72	7	7.00	
9	1	1165	80	8	8.00	
10	1	1173	88	8	8.00	

Tabla 6.28: DCP laboratorio 100 %DSM - 56 golpes

ENSAYO DCP DE LABORATORIO REALIZADO EN MUESTRAS ELADORADAS AL 98% DENSIDAD SECA MAXIMA DEL PROCTOR MODIFICADO - 25 GOLPES POR CAPA EN 5 CAPAS

PENETRACION DCP MUESTRA1. (98%DSM -25 GOLPES)					
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmXGOLPE)
0	0	1077	0	0	0.00
1	1	1090	13	13	13.00
2	1	1101	24	11	11.00
3	1	1113	36	12	12.00
4	1	1123	46	10	10.00
5	1	1134	57	11	11.00
6	1	1144	67	10	10.00
7	1	1155	78	11	11.00
8	1	1167	90	12	12.00
9	1	1177	100	10	10.00

PENETRACION DCP MUESTRA2. (98%DSM -25 GOLPES)					
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmXGOLPE)
0	0	1078	0	0	0.00
1	1	1092	14	14	14.00
2	1	1104	26	12	12.00
3	1	1115	37	11	11.00
4	1	1126	48	11	11.00
5	1	1137	59	11	11.00
6	1	1147	69	10	10.00
7	1	1156	78	9	9.00
8	1	1166	88	10	10.00
9	1	1176	98	10	10.00

PENETRACION DCP MUESTRA3. (98%DSM -25 GOLPES)					
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmXGOLPE)
0	0	1080	0	0	0.00
1	1	1090	10	10	10.00
2	1	1102	22	12	12.00
3	1	1113	33	11	11.00
4	1	1122	42	9	9.00
5	1	1132	52	10	10.00
6	1	1143	63	11	11.00
7	1	1152	72	9	9.00
8	1	1162	82	10	10.00
9	1	1175	95	13	13.00

PENETRACION DCP MUESTRA4. (98%DSM -25 GOLPES)					
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmXGOLPE)
0	0	1076	0	0	0.00
1	1	1091	15	15	15.00
2	1	1102	26	11	11.00
3	1	1111	35	9	9.00
4	1	1121	45	10	10.00
5	1	1132	56	11	11.00
6	1	1142	66	10	10.00
7	1	1154	78	12	12.00
8	1	1167	91	13	13.00
9	1	1175	99	8	8.00

Tabla 6.29: DCP laboratorio 98 %DSM - 25 golpes

ENSAYO DCP DE LABORATORIO REALIZADO EN MUESTRAS ELADORADAS AL 92% DENSIDAD SECA MAXIMA DEL PROCTOR MODIFICADO - 12 GOLPES POR CAPA EN 5 CAPAS

PENETRACION DCP MUESTRA1. (92%DSM -12 GOLPES)					
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmxGOLPE)
0	0	1081	0	0	0.00
1	1	1095	14	14	14.00
2	1	1110	29	15	15.00
3	1	1122	41	12	12.00
4	1	1136	55	14	14.00

PENETRACION DCP MUESTRA2. (92%DSM -12 GOLPES)					
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmxGOLPE)
0	0	1098	0	0	0.00
1	1	1111	13	13	13.00
2	1	1123	25	12	12.00
3	1	1137	39	14	14.00
4	1	1151	53	14	14.00
5	1	1164	66	13	13.00

PENETRACION DCP MUESTRA3. (92%DSM -12 GOLPES)					
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmxGOLPE)
0	0	1096	0	0	0.00
1	1	1114	18	18	18.00
2	1	1128	32	14	14.00
3	1	1139	43	11	11.00
4	1	1151	55	12	12.00
5	1	1164	68	13	13.00

PENETRACION DCP MUESTRA4. (92%DSM -12 GOLPES)					
NUMERO DE GOLPES ACUMULADOS	NUMERO DE GOLPES PARCIALES	ALTURA LEIDA (mm)	PENETRACION ACUMULADA (mm)	PENETRACION PARCIAL (mm)	DCP=PENETRACION POR GOLPE (mmxGOLPE)
0	0	1100	0	0	0.00
1	1	1115	15	15	15.00
2	1	1130	30	15	15.00
3	1	1143	43	13	13.00
4	1	1156	56	13	13.00
5	1	1168	68	12	12.00

Tabla 6.30: DCP laboratorio 92 %DSM - 12 golpes

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL METODO DEL AASHTO

$W_{8\text{-}2}$	868218
Zr	0.524
So	0.4
Po	4.5
Pt	2
ΔPSI	2.5
CBR%	4
MR	6000
SN	3.2662776

$$Log\ W_{8.2}=Z_r*S_0+9.36*Log(SN+1)\text{-}0.2+\frac{Log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0{,}40+\frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}}+2{,}32\ Log(M_r)\text{-}8{,}7$$

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
$Log\ W_{8.2}=$	Z_r*S_0	$9.36*Log(SN+1)\text{-}0.2$	$\frac{Log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0{,}40+\frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}}$	$2{,}32\ Log(M_r)\text{-}8{,}7$	②+③+④+⑤	①-⑥
5.939	0.210	5.697	-0.034	0.065	5.938	0.000

ALTERNATIVA NRO 1

NUMERO ESTRUCTURAL TOTAL CON 30cm DE MEJORAMIENTO							
MATERIAL	ESPESOR		a_i (pulg)	a_i (cm)	d_i	m_i	SN
	cm	pulgadas					
Mejoramiento	30	11.81102362	0.11	0.043307087	11.81102362	0.9	1.16929134
Subbase granular		0					
Base granular	25	9.842519685	0.132	0.051968504	9.842519685	1	1.2992126
Carpeta Asfáltica	5	1.968503937	0.4064	0.16	1.968503937		0.8
TOTAL	60	23.62204724					3.26850394

ALTERNATIVA NRO 2

NUMERO ESTRUCTURAL TOTAL CON 35cm DE MEJORAMIENTO							
MATERIAL	ESPESOR		a_i (pulg)	a_i (cm)	d_i	m_i	SN
	cm	pulgadas					
Mejoramiento	38	14.96062992	0.11	0.043307087	14.96062992	0.9	1.48110236
Subbase granular		0					
Base granular	19	7.480314961	0.132	0.051968504	7.480314961	1	0.98740157
Carpeta Asfáltica	5	1.968503937	0.4064	0.16	1.968503937		0.8
TOTAL	62	24.40944882					3.26850394

Tabla 6.31: Diseño de pavimento flexible por el método del AASHTO

DISTRIBUCION POR TIPO DE VEHICULOS CONSIDERANDO LIVIANOS Y PESADOS

TIPO DE VEHICULO	% DE DISTRIBUCION	AÑO 2014	AÑO 2024	AÑO 2034
LIVIANOS (VL)	47.17	125	176	248
BUS(BM)	9.43	25	35	49
CAMIONES (2DA)	22.64	60	84	119
CAMIONES (2DB)	15.09	40	56	79
CAMIONES (3A)	5.66	15	21	29
CAMIONES (4C)	0.00	0	0	0
TOTALES	100.00	265	372	524

DETERMINACION DEL NUMERO DE EJES EQUIVALENTE A 8.2 TON CONSIDERANDO VEHICULOS LIVIANOS Y PESADOS

TIPO DE VEHICULO	EJES	CARGA POR EJE (TON)	% DE DISTRIBUCION	FACTOR DE DAÑO	CARGA EQUIVALENTE DE 8.2 TON	TIPO DE EJE
LIVIANOS (VL)	1	1	47.17	0.00052702	0.000249	SIMPLE
	2	2.5		0.02058658	0.009711	SIMPLE
BUS(BM)	1	3.9	9.43	0.12192217	0.011502	SIMPLE
	2	9.2		1.58451334	0.149482	DOBLE
CAMIONES (2DA)	1	1.9	22.64	0.00686813	0.001555	SIMPLE
	2	4.4		0.08290015	0.018770	DOBLE
CAMIONES (2DB)	1	5.5	15.09	0.48225309	0.072793	SIMPLE
	2	11		3.23828696	0.488798	DOBLE
CAMIONES (3A)	1	5.5	5.66	0.48225309	0.027297	SIMPLE
	2	19		3.80941923	0.215628	TANDEM
			SUMATORIA		0.995784	

NUMERO DE EJES DE 8.2 TON CARRIL DE DISEÑO PERIODO DE DISEÑO 10 AÑOS

ECE = 868,218 REPETICIONES

NUMERO DE EJES DE 8.2 TON CARRIL DE DISEÑO PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS

ECE = 2,150,782 REPETICIONES

Tabla 6.32: Estudio de tráfico realizado por el Gobierno Provincial del Azuay para la pavimentación flexible de la vía Señor de Burgos, parroquia Ricaurte, Programa Nuestra Vía



Figura 6.1: Grupo de muestras seleccionadas en fundas para ensayos CBR y DCP.



Figura 6.2: Elaboración de moldes CBR con material de la mina de Llatcon.



Figura 6.3: Aplicación de carga dentro del ensayo CBR.



Figura 6.4: Ensayo DCP de laboratorio en el material de la mina de Llatcon.

Bibliografía

[1] Montejo Fonseca, A. (1999). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. IMPREANDES. 480pp. COLOMBIA.

[2] AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. AASHTO PUBLISHER (WASHINGTON). 624pp. EEUU.

[3] The Asphalt Institute. (1981). MS-1 Thickness Design. THE ASPHALT INSTITUTE PUBLISHER (WASHINGTON). EEUU.

[4] Braja, M. DAS. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. INTERNATIONAL THOMSON EDITORES. 594pp. EEUU.

[5] Braja, M. DAS. (2001). Principios de Ingeniería de Cimentaciones. INTERNATIONAL THOMSON EDITORES. 862pp. EEUU.

[6] Nuñez del Arco, A.E. (2003). Geología del Ecuador. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL. 254pp. ECUADOR.

[7] República del Ecuador. (2010). COOTAD. Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización. REGISTRO OFICIAL. ECUADOR.

[8] Blyth, Fleitas. (2000). Geología para Ingenieros. COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL. 440pp. INGLATERRA.

[9] AASHTO. (2013). AASHTO Standard test CBR. AASHTO PUBLISHER (WASHINGTON). 12pp. EEUU.

[10] ASTM. (2013). ASTM Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement. ASTM PUBLISHER (WEST CONSHOHOCKEN). 7pp. EEUU.

[11] TRL. Transport Research Laboratory. (1993). Overseas Road Note 31. CROWN. 82pp. INGLATERRA.

[12] González L., Ferrer M., Ortuño L., Oteo C. (2002). Ingeniería Geológica. CPEARSON EDUCACIÓN. 744pp. ESPAÑA.

[13] Ministerio de Obras Públicas. (2002). MOP. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes. MOP. ECUADOR.

[14] Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). NEVI-12-MTOP. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes. MTOP. ECUADOR.

[15] Sawer, W. (1984). Geología del Ecuador. TALLERES GRÁFICOS DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN. 190pp. ECUADOR.