PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACION PREVIA A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE CAPAS DE RODADURA CON LA INCORPORACIÓN DE CEMENTO PORTLAND TIPO IP COMO POSIBLE MATERIAL DE MEJORAMIENTO"

CHRISTIAN JARAMILLO DUQUE

JOSÉ ANTONIO SEVILLA HOLGUÍN

DIRECTOR: JOSÉ ANTONIO SALVADOR U.

QUITO, 2012

Dedicatoria

A mis padres Patricio y Yolanda,

su guía y apoyo incondicional me acompañan cada día.

A mi hermana Andrea,

siendo la menor eres un ejemplo integral para mi.

A mi abuela Eli,

eres el amor más puro e incondicional que necesito en mi vida.

A mi familia y más queridos amigos,

alegran mi vida, gracias por estar siempre a mi lado.

C.J.

Dedicatoria

A mis padres Juan Antonio y Ángela María,

por su apoyo incondicional.

A mi familia,

por el gran cariño.

A mis hermanos y amigos,

por acompañarme en este camino.

A mi abuelo Germán,

por su inspiración y ejemplo.

J.A.S.H.

AGRADECIMIENTOS

La presente disertación no se la hubiera podido llevar acabo sin la colaboración de muchas personas y entidades a quienes queremos expresar nuestro más sentido agradecimiento. Queremos iniciar extendiendo nuestra gratitud a nuestro Director de Disertación, Ingeniero José Antonio Salvador por su apoyo constante, consejos y paciencia durante nuestra vida académica y especialmente durante la elaboración del presente estudio.

De igual manera queremos expresar nuestra gratitud a nuestros profesores revisores del presente estudio: Ingeniero Paúl Enríquez e Ingeniero Gustavo Yánez por el tiempo destinado a la lectura y corrección de nuestro trabajo.

A la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, por habernos brindado el acceso al conocimiento técnico necesario para desempeñar nuestras futuras labores y a la vez habernos inculcado los valores fundamentales para no solo ser buenos profesionales sino seres humanos integrales.

Al GOBIERNO PROVINCIAL DE IMBABURA, por aceptar la idea y apoyar el proyecto planteado a través de valiosos aportes de información y encausar este estudio desde su inicio.

A nuestra querida FACULTAD DE INGENIERÍA por haber sido nuestra casa durante estos 5 años y habernos dado un ambiente óptimo para nuestro desempeño académico.

A todas las personas que forman parte de este tribunal gracias por sus correcciones, observaciones y el tiempo dedicado a nuestro trabajo.

A nuestras familias, en especial a nuestros padres. Gracias por su apoyo y sus consejos en todos los aspectos de nuestras vidas. Gracias por el apoyo constante y en ser un soporte integral en nuestro desarrollo no solo como profesionales sino como hombres de bien.

Finalmente a todos nuestros profesores, compañeros y amigos que de una u otra forma a su manera nos han apoyado hasta la culminación de nuestros estudios.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN ix

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN 1

1.1. Generalidades 1

1.2. Enfoque actual 3

1.3. Alcance 4

CAPÍTULO 2.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS VÍAS EN ESTUDIO 7

2.1. Vía Otavalo – Selva Alegre 7

2.1.1. Historia 7

2.1.2. Descripción 8

2.1.3. Características técnicas 10

2.2. Vía Cuicocha – Apuela – Aguagrúm 13

2.2.1. Historia 14

2.2.2. Descripción 15

2.2.3. Características técnicas 18

CAPÍTULO III.- EL CEMENTO COMO MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE CAPAS DE RODADURA .. 24

3.1. Historia 24

3.1.1. El Cemento como lo conocemos hoy en día 24

3.1.2. El Cemento y su aplicación en vías como material de mejoramiento . 27

3.1.3. Experiencia en el Ecuador con el uso del cemento en vías 34

3.2. Técnicas y Empleo 35

3.2.1. Suelo-Cemento 35

3.2.2. Aplicabilidad 36

3.2.3. Cemento 36

3.2.3.1. Acción del cemento en los suelos 38

3.2.4. Métodos de Empleo 41
3.3. Normativa..... 42
CAPÍTULO IV.- EL CEMENTO COMO MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE CAPAS DE RODADURA.. 45
4.1. Muestreo..... 45
4.1.1. Procedimiento 45
4.2. Clasificación de Suelos 46
4.2.1. Clasificación por Tamaño de las Partículas 47
4.2.2. Sistema Unificado de Clasificación (S.U.C.S.) 47
4.2.2.1. Suelos Gruesos 49
4.2.2.2. Suelos Finos 49
4.2.3. Resultados 49
4.2.3.1. Resultados Otavalo – Selva Alegre 50
4.2.3.2. Resultados Cuicocha – Apuela – Aguagrum 50
4.3. Límites de Atterberg 51
4.3.1. Límite Líquido 51
4.3.2. Límite Plástico 52
4.3.3. Limite de Retracción o Contracción 52
4.3.4.Índice de Plasticidad 52
4.3.5. Resultados 53
4.3.5.1. Resultados Otavalo – Selva Alegre 53
4.3.5.2. Resultados Cuicocha – Apuela – Aguagrum 54
4.4. CBR..... 54
4.4.1. Resultados 56
4.4.1.1. Resultados Otavalo – Selva Alegre 56
4.4.1.2. Resultado Cuicocha – Apuela – Aguagrum 56
4.5. Compresión simple a probetas 57
4.5.1. Mejoramiento en base a cemento 57
4.5.2. Resultados 58

4.5.2.1. Resultados Otavalo Selva-Alegre 58
4.5.2.2. Resultado Cuicocha – Apuela - Aguagrum..... 58
4.5.2.3. Análisis Económico 58
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO 61
5.1. Sobre los intentos de mejoramiento anteriores 61
5.2. Parámetros a ser considerados de la Normativa Española de vías 63
5.3. Sobre los resultados obtenidos con los ensayos 65
5.3.1. Vía Otavalo-Selva Alegre..... 65
5.3.2. Vía Cuicocha – Apuela – Aguagrúm..... 66
5.4. Comparación económica con otros métodos de mantenimiento periódico..... 68
5.5. Recomendaciones 69
BIBLIOGRAFÍA..... 69
ANEXOS 72
ANEXO ENSAYO CUICOCHA – APUELA 73
ANEXO ENSAYO OTAVALO – SELVA ALEGRE 91
ANEXO NORMATIVA 111

RESUMEN

En la presente disertación se presentará un análisis del comportamiento de muestras de las vías Otavalo - Selva alegre entre los Km25 – Km59 y Cuicocha – Apuela - Aguagrúm entre los Km0 – Km35, ensayándolas a compresión simple tras añadir cemento a las mismas en porcentajes del 3%, 4% y 5%.

Se ensayaron las muestras, determinando su clasificación y características mecánicas. En base al ensayo de compresión simple se determinó que el porcentaje adecuado de cemento que se debe agregar para cumplir la nomenclatura internacional más exigente es el 5%, llegando a obtenerse hasta 25,9 kg/cm^2 de resistencia.

No se planteó el uso de porcentajes mayores al 5% de cemento debido a que la utilización de porcentajes superiores supondría un costo excesivo ante lo cual se podrían plantear otras soluciones como utilización de la mejor Base que se encuentre en el sector o incluso un doble tratamiento superficial bituminoso. Se expone un análisis económico que justifica la viabilidad desde esta perspectiva.

Se exponen criterios de normativa internacional en donde se encuentra regulada la utilización de cemento como material de mejoramiento de calzadas, y no se limita el uso de este material para el mejoramiento de sólo bases y sub-bases granulares.

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Los modelos de desarrollo regional de aplicabilidad nacional, están sujetos a minuciosos parámetros de estudio para la ejecución de diferentes obras civiles de todo aspecto. La construcción de una vía nueva, la ampliación de una vía actual y todos aquellos proyectos deben ajustarse a la priorización correspondiente dentro del modelo de desarrollo; por esta razón los caminos vecinales y de bajo volumen de tráfico que dentro del plan regional no se encuentren aún prestas a ser asfaltadas, deben mantenerse en un estado aceptable para su uso.

Los Gobiernos Provinciales invierten gran parte de su presupuesto anual para brindar mantenimiento a las vías, principalmente de bajo volumen de tráfico, que se encuentran dentro de su jurisdicción. En épocas invernales, estas vías se ven sometidas a situaciones extremas, que, considerando la falta de infraestructura, de drenaje y su frágil constitución, dañan profundamente la estructura y condiciones de las vías, haciéndolas en muchos casos intransitables por prolongados períodos de tiempo hasta que puedan ser atendidas. Es común que sean múltiples las vías afectadas simultáneamente, situación que impide que sean atendidas a la brevedad del caso.

Por estas razones, el análisis de opciones para prolongar la vida útil y aumentar la resistencia de estas vías es cada vez más demandado por parte de los gobiernos locales. Opciones de mejoramiento no faltan y es común que se ofrezcan soluciones en base a emulsiones asfálticas o mezclas con polímeros de distintas índoles, que, si bien pueden ser tomadas como una solución al problema, muchas veces se presentan como soluciones muy costosas.

Basados en lo mencionado anteriormente, consideramos que en una provincia como Imbabura, con fácil acceso a grandes minas de caliza y con una de las industrias productoras de cemento más importantes del país, sería factible la realización de un análisis del comportamiento de las capas de rodadura con la incorporación de cemento portland tipo IP, como una posible alternativa para el mejoramiento de estas superficies.

Con estos antecedentes tuvimos la oportunidad de tener acercamiento con el Gobierno Provincial local y en base a un estudio de factibilidad realizado por ellos, nos propusieron que tomemos dos vías de bajo volumen de tráfico, no asfaltadas las cuales se han constituido como unos de los principales ejes de desarrollo para la provincia, de manera que se realicen los respectivos estudios en ellas.

1.2. Enfoque actual

Con el paso de los años, la demanda de material granular en general, ha ido incrementándose para las diferentes actividades de la ingeniería civil. Por esta razón es cada día más difícil encontrar minas que proporcionen el material adecuado en términos de granulometría, abrasión y todas aquellas consideraciones que se deben prestar atención al momento de la elección de materia prima para la construcción.

En el caso particular de las vías, las mismas no están exentas de rigurosos ensayos de laboratorio para la elección del material que las conformarán; esta materia prima debe cumplir con normas específicas de granulometría y abrasión para la estructuración de las bases y sub-bases de los caminos. Ante esta realidad, y la escasez cada vez más continua de material granular adecuado, la necesidad de alternativas para la elaboración de bases, sub-bases y capas de rodadura de vías de bajo volumen de tráfico es cada vez mayor.

Con estos antecedentes y considerando la existencia de minas de caliza que están prestas a suplir la demanda de cemento por las próximas décadas con total tranquilidad, la opción de utilizar al cemento como un potencial material de mejoramiento de vías de bajo volumen de tráfico se hace cada vez más necesario. Se debe considerar adicionalmente que la incorporación de cemento a las estructuras granulares ya conformadas en las vías de bajo volumen de tráfico,

permite obtener una mejor consistencia del material, prolongando su vida útil y los períodos de mantenimiento.

La incorporación de cemento en vías, sea para elaborar mejores bases, sub-bases o incluso capas de rodadura, no es una técnica nueva en el mundo. Desde principios del siglo XX se vienen realizando incorporaciones de cemento en distintos porcentajes, sea para cambiar propiedades de los suelos, o para conformar estructuras más resistentes al mezclarse con el suelo y sus agregados.

En los actuales tiempos se puede decir que la incorporación de cemento como un material de mejoramiento de suelos y caminos, es una práctica común que ha ido más allá del campo experimental, hasta puntos en los que ha sido normada su colocación. Esto queda demostrado, considerando la cantidad de nuevas normas (Española, Panameña, Ecuatoriana) que incluyen al cemento como un material de mejoramiento en combinación con suelos granulares.

1.3. Alcance

En la presente disertación se presentará un análisis del comportamiento de muestras de las vías Otavalo - Selva alegre entre los Km25 – Km59 y Cuicocha – Apuela - Aguagrúm entre los Km0 – Km35, ensayándolas a compresión simple tras añadir cemento a las mismas en porcentajes del 3%, 4% y 5%.

La disertación expondrá un estudio de cada vía con detalles específicos de su estado actual y de sus alrededores. Se expondrá la historia del cemento como material de mejoramiento en capas de rodadura en el cual se hará un especial énfasis en la experiencia internacional. Para la elaboración de este trabajo, se realizará visitas a las vías en estudio de donde se tomarán muestras de dos puntos ubicados a distancias significativas para obtener muestras representativas y de las minas que se obtiene el material para su mantenimiento rutinario, se ensayarán las muestras al laboratorio para obtener Límites de Atterberg, granulometría, humedad y CBR natural de las mismas. Con los resultados obtenidos se procederá a mezclar las muestras con el 3%, 4% y 5% de cemento al peso y se realizarán probetas las que serán sometidas a ensayos de compresión simple de manera que se obtenga la resistencia a dicho esfuerzo y en base a la normativa nacional e internacional conocida, se determinará el porcentaje óptimo de cemento a utilizar en campo.

Se limitó el uso de estos porcentajes de cemento mencionados debido a que la utilización de porcentajes superiores al 5% supondría un costo excesivo ante lo cual se podrían plantear otras soluciones como utilización de la mejor Base que se encuentre en el sector o incluso un doble tratamiento superficial bituminoso. Un análisis de los costos en general se expondrá en los siguientes capítulos del presente estudio.

Para finalizar se citarán las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado con la investigación y con esto se determinará si es factible técnica y económicamente la incorporación de cemento a las capas de rodadura de las vías Otavalo - Selva Alegre entre los Km25 – Km59 y Cuicocha – Apuela - Aguagrúm entre los Km0 – Km35.

CAPÍTULO 2.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS VÍAS EN ESTUDIO

2.1. Vía Otavalo – Selva Alegre

La vía que une las poblaciones de Otavalo y Selva Alegre, se ha constituido en uno de los ejes fundamentales para el crecimiento económico y desarrollo general de todo el cantón. El trazado original se lo realizó en la década de los 50´s, pero, a principio de los 70´s se cambió un poco su diseño. La ruta tiene dos particularidades que la hacen una de las más importantes de la provincia: la primera es, que se constituye como el único acceso para la extracción de las minas de caliza de la zona, permitiendo así el desarrollo de importantes empresas, como por ejemplo la cementera Lafarge; y, la segunda, que es el trayecto que une a la provincia con la región costera, pues la vía termina en Quinindé.

2.1.1. Historia

En la década de los años 50´s el gobierno central, encomienda al Cuerpo de Ingenieros del Ejército la planificación y ejecución de la Vía Otavalo - Selva Alegre – Quinindé, concibiéndose como una vía muy angosta con pendientes demasiado pronunciadas, con una pobre capa de rodadura y una estructura de drenaje casi inexistente. Posteriormente a principios de los años 70´s con

intención de ayudar al desarrollo de la industria productora de cemento Lafarge (Selva Alegre en ese tiempo), se amplió la vía y se redujeron las pendientes considerablemente.

Debido a que la vía es la conexión de la provincia con la costa, el Gobierno Provincial de Imbabura (GPI) ha puesto mucho interés en mejorar el estado de la vía y darle un mejor y más frecuente mantenimiento. Hace aproximadamente 10 años el Gobierno Provincial firmó un acuerdo con Lafarge, en la que ésta donaba el 25% del impuesto a la renta, para que se invirtiera en el mejoramiento de la vía, el proyecto pretendía mejorar 10 kilómetros de vía por año pero el gobierno central prohibió este tipo de donaciones. En el transcurso de tiempo en que este convenio estuvo vigente, se colocó una capa de asfalto de 2 pulgadas (5cm) desde el km 0 hasta el km 10.8 y se dio un doble tratamiento superficial bituminoso, desde el km 10.8 hasta el km 25, la intención del convenio era llegar con carpeta asfáltica al menos hasta la mina de piedra caliza que utiliza Lafarge, pero con la abolición de las donaciones el contrato quedo nulo. La empresa Lafarge también donó un rodillo y una motoniveladora que siguen siendo usadas para el mantenimiento rutinario de esta ruta.

2.1.2. Descripción

En la actualidad la vía se encuentra asfaltada y en buen estado entre los kilómetros 0+000 y 10+800, desde los kilómetros 10+800 y 25+000, la ruta posee un doble

tratamiento bituminoso que está en un estado bastante aceptable. Entre los kilómetros 25+000 hasta el kilometro 59+000 la vía está conformada por una estructura de grava de las minas aledañas a la vía, que el Gobierno Provincial Local continuamente dispone para su mantenimiento. Se puede decir que el estado general de la vía es regular, aunque se presentan lugares donde la superficie de rodadura se encuentra muy deteriorada.

El clima al que se encuentra sometida la vía es variado, presentando constantes precipitaciones en tramos prolongados de la misma.

Es importante mencionar que en ciertos tramos no existe la presencia de cunetas, por ello las precipitaciones deterioran de manera más apresurada la calzada existente.

En el kilómetro 5.8 existe un peaje que se cobra a todos los vehículos que circulan por la vía con las siguientes tarifas:

- Livianos (4 llantas): 0.10 USD
- 2 ejes (6 llantas): 0.25 USD
- 3 ejes: 0.50 USD
- Más de 3 ejes: 0.75USD

La recaudación de este peaje, se destina para el mantenimiento de la vía, pero al ser muy reducido lo que se percibe de esto, el GPI aporta de su presupuesto para los trabajos que se requieren.

Desde el kilómetro 59+000 hasta el 63+000 está ubicada la población llamada el Quinde, la cual sufre incomodidades bastante grandes debido al mal clima, mezclado con el tráfico pesado que circula por el sector, es por esto que se ha tratado de dar una solución y en este intento, hace aproximadamente tres años, se escarificó el material existente y se le incorporó cemento en un 3%, esto no tuvo ningún beneficio, debido a que, con la presencia de las primeras precipitaciones fuertes, todo el material se lavó y la vía se deterioró tal y como ha sucedido en años pasados. Un segundo intento tuvo lugar hace dos años, cuando se licitó con una compañía privada la colocación de un doble tratamiento superficial bituminoso en el mismo tramo, según lo que se nos comunicó se colocó una base de material de una mina que se encuentra cerca al sector y sobre eso se dispuso el doble tratamiento, al cabo de pocos meses, la capa de rodadura comenzó a deformarse y resquebrajarse hasta quedar totalmente destruida.

2.1.3. Características técnicas

El tráfico existente en la vía, de acuerdo con la información provista por los técnicos del Gobierno Provincial, es en su mayoría pesado, con un TPDA de 300. Al consultar con personal de la empresa Lafarge, nos manifestaron que diariamente ellos envían alrededor de 300 viajes de volquetas, que oscilan entre los $12m^3$ y $20m^3$de capacidad, para el transporte de la materia prima del cemento que producen, por tanto se puede concluir a grandes rasgos, que el tráfico general

de la vía se limita al tránsito de estos vehículos, y que los vehículos livianos que transitan en el sector son insignificantes en relación a los pesados.

La vía se encuentra conformada en diferentes capas de variado espesor a lo largo de los 34km estudiados. Se observaron espesores de distintos materiales entre 15cm y 25cm logrando espesores totales de entre 45cm y 60cm por lo que se pudo diferenciar 2 y 3 capas bien marcadas de material granular, como se muestra en las imágenes a continuación (IMAGEN 2.01 – IMAGEN 2.04).



IMAGEN 2.01



IMAGEN 2.02



IMAGEN 2.03



IMAGEN 2.04

Es importante mencionar que, en los 25 kilómetros que constituyen el tramo desde la ciudad de Otavalo hasta el punto de inicio de nuestro estudio, la vía se

encuentra asfaltada, señalizada y con la respectiva obra de evacuación de aguas lluvias, en un estado aceptable de conservación. A partir del kilómetro 59+000 la vía presenta un tramo al que se le aplicó un doble tratamiento bituminoso sobre el material que se encontraba como base granular. Sin embargo este tratamiento se encuentra en pésimas condiciones actualmente, a pesar de las características ligantes que presenta el doble tratamiento, esta es una razón adicional por la que el GPI busca la realización de un análisis de la capa de rodadura de manera que se pueda plantear una posible solución para el trayecto estudiado.

El material usado para la conformación de la estructura de pavimento, se obtiene de una mina que está ubicada en el kilómetro 35+000 del tramo en estudio; de ahí se obtiene el agregado para el uso y mantenimiento de la vía. El material que se tiende no es triturado, sino se dispone tal y como se lo obtiene de la mina. A simple vista se observa que es un material mal graduado y muy húmedo; los resultados de los ensayos realizados se presentarán en el capitulo IV. (IMAGEN 2.05 – IMAGEN 2.07)



IMAGEN 2.05



IMAGEN 2.06



IMAGEN 2.07

Finalmente es muy importante mencionar que la vía presenta un estado de compactación elevado en muchos tramos debido a la cantidad de vehículos pesados que transitan continuamente por la misma. Como se puede observar en las siguientes imágenes. (IMAGEN 2.08 – IMAGEN 2.09)



IMAGEN 2.08



IMAGEN 2.09

2.2. Vía Cuicocha – Apuela – Aguagrúm

La vía en estudio, nace junto al acceso principal de la laguna de Cuicocha en el Parque Nacional Cotacachi Cayapas. Ésta conecta las poblaciones de Apuela, La

Delicia, García Moreno, Cielo Verde, Santa Rosa y Aguagrúm. Al ser una vía extensa que llega hasta la Costa Ecuatoriana, presenta diferentes particularidades a lo largo de su trazado, en temas de clima y suelos.

2.2.1. Historia

La concepción de la necesidad de una vía que una íntegramente la provincia de Imbabura con la Costa del Ecuador, nace casi paralelamente con la vía Otavalo – Selva Alegre, sin embargo la construcción final de la vía Cuicocha – Apuela no se concreta hasta 1966, que fue inaugurada durante el gobierno de Clemente Yerovi Indaburu. Desde aquel entonces hasta la actualidad, la vía ha tenido una capa de rodadura de material granular, que constantemente ha si do conservada por el Gobierno Provincial Local[1].

Debido a la importancia de esta vía, y, en cumplimiento a las ofertas de campaña electoral, tanto el Gobierno Provincial de Imbabura como del cantón Cotacachi propusieron en el año 2011 la re-construcción y rehabilitación completa de la vía, de manera que Imbabura disponga de una vía de primer orden que la conecte con la Costa del país. Esto dentro de un gran proyecto de desarrollo regional que ha montado Imbabura para constituirse en una terminal interior con la capacidad de posponer el control aduanero, para descongestionar las operaciones de ingreso y salida de productos. (Puerto seco).

[1] (http://www.plazagutierrez.gob.ec/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=37&Itemid=27)

La rehabilitación completa de esta vía permitirá el paso de recursos de todo tipo desde Imbabura hacia la provincia de Esmeraldas y viceversa, de igual manera conectará con el eje de desarrollo regional Manta-Manaos.

Durante el mes de Febrero, se realizaron varios recorridos a lo largo de la vía, analizando la factibilidad de utilizar el trazado actual, construyendo obras complementarias como muros, cunetas y alcantarillas; o, en su defecto realizar un nuevo trazado en aquellas zonas donde no se puede cumplir la normativa de trazado vial vigente en el Ecuador desde el año 2003. Particularmente existen 6 curvas a lo largo del trazado de la vía que no cumplen con lo especificado en el Manual de Diseño Geométrico MOP 2003, que deberían ser reformadas por completo.

A pesar de todos estos esfuerzos, el plan de asfaltado completo de la vía se encuentra aún en fase de estudios preliminares, por cuanto la búsqueda de una solución a corto plazo que permita un mejoramiento inminente de ciertos tramos muy desgastados de la vía, sigue siendo prioritaria.

2.2.2. Descripción

La vía Cuicocha – Apuela – Aguagrúm (IMAGEN 2.10) une la zona montañosa de cordillera de la provincia de Imbabura con la zona cálida-tropical. Por esta razón, a lo largo de su trayecto, se encuentran gran variedad de micro-climas y

suelos que influyen directamente en la preservación de la vía por la cantidad variada de precipitaciones que se suscitan en varios tramos de ella. En la actualidad, la vía se encuentra en un estado aceptable considerando su condición de vía C3 de bajo volumen de tráfico. (IMAGEN 2.11 – IMAGEN 2.13).



IMAGEN 2.10



IMAGEN 2.11



IMAGEN 2.12



IMAGEN 2.13

En gran parte de la zona de páramo de su trazado, la calzada de la vía es bastante estrecha, considerando los grandes cortes que se debieron realizar para su construcción. Por esta razón en algunos tramos, la circulación de dos vehículos simultáneamente es complicada. Es importante recalcar que adicionalmente a esta condición de dimensiones transversales de la vía, a lo largo del kilómetro 24+500 se presentó un gran deslizamiento de material principalmente granular, que impidió durante varios días la circulación vehicular; producto de este gran desplazamiento, posteriormente a su limpieza, las autoridades viales de la provincia dispusieron la utilización de este material para mantenimiento de los tramos aledaños debido a sus condiciones aceptables. (IMAGEN 2.14)



IMAGEN 2.14

En la parte inicial de la vía que conduce a la comunidad de Irubí y la Delicia, se produce papa, granadilla, habas. A lo largo de la vía se observa pastoreo, proceso de lácteos, etc.

El turismo ecológico que se ha desarrollado en las últimas décadas, requiere de vías de primer orden para incrementar su actividad.

Al área de influencia del proyecto, le corresponde un clima caracterizado por 2 subperíodos: el primero de lluvias intensas de noviembre a mayo y el segundo con precipitaciones moderadas de junio a octubre.

Finalmente al igual que en la vía anteriormente descrita, es importante recalcar que no existe la presencia de cunetas, por cuanto las continuas precipitaciones principalmente en la zona de páramo desgastan la calzada de la vía.

2.2.3. Características técnicas

Debido a la importancia de la vía, en la actualidad está siendo sometida a varios estudios. En conjunto con el consorcio INTAG, realizamos el estudio de tráfico y cargas. Considerando que la rehabilitación o mejoramiento de los caminos existentes en general depende de los volúmenes de tráfico actuales y futuros que circularán durante la vida útil del proyecto, nace la importancia de la determinación de esta información en sus diferentes categorías, ya que los errores en su determinación, ocasionarían que las vías funcionen con tráficos inferiores con respecto a los proyectados, o tengan un deterioro acelerado por volúmenes de tránsito superiores a los proyectados. Los conteos manuales se realizaron durante siete días para cada sentido, durante 12 horas. Se clasificaron en las siguientes

categorías: liviano (auto, camioneta), buses y camiones. Para obtener información de los volúmenes de tráfico, se realizaron conteos de tráfico manuales, mediante la metodología de aforo, los que sirvieron para obtener la clasificación de los vehículos por tipo.

En base a los conteos realizados obtuvimos los siguientes resultados:

TABLA 2.1 – AFORO DE TRÁFICO

AFORO DE TRÁFICO

	FEBRERO 2011								
	Domingo 20	Lunes 21	Martes 22	Miércoles 23	Jueves 24	Viernes 25	Sábado 26	TOTAL	PROMEDIO
LIVIANOS	88	62	59	62	53	59	82	**465**	66
BUSES	16	13	11	13	12	13	16	**94**	13
P -2 EJES	23	11	20	11	14	20	18	**117**	17
P -3 EJES	3	0	1	0	0	0	6	**10**	1
P -4 ó + EJES	0	0	0	0	0	0	0	**0**	0
SUBTOTAL	**130**	**86**	**91**	**86**	**79**	**92**	**122**	***686***	**98**

Que en términos porcentuales se ve reflejado de la siguiente manera:

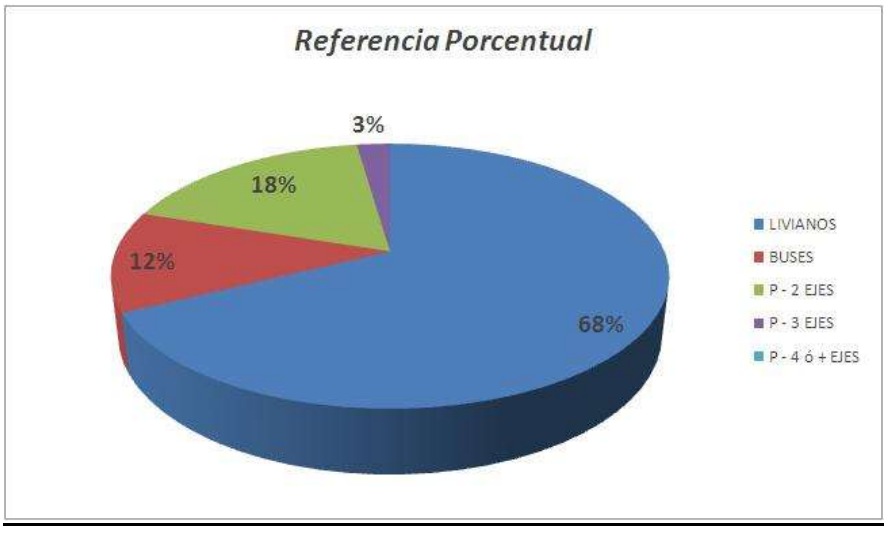


IMAGEN 2.15

Los volúmenes registrados de los conteos automáticos, se procesaron de la manera siguiente:

- Se contabilizó los volúmenes de vehículos, en períodos horarios y diarios, los siete días de la semana.
- Se calculó el tráfico promedio diario semanal (TPDS - Vehículos)
- Para determinar el TPDA del año 2011, se aplicó al TPDS el factor de ajuste mensual de febrero (Fm) = 1.0850, factor obtenido de la variación anual en el consumo de combustibles en la provincia de Imbabura.

TABLA 2.2 – DETALLE DE CONTEO DE TRÁFICO

DIAS	Livianos	Buses	CAMIONES			TOTAL
			2 Ejes	3 Ejes	> de 3 Ejes	
Lunes	62	13	11	0	0	86
Martes	59	11	20	1	0	91
Miércoles	62	13	11	0	0	86
Jueves	53	12	14	0	0	79
Viernes	59	13	20	0	0	92
Sábado	82	16	18	6	0	122
Domingo	88	16	23	3	0	130
SUMA	465	94	117	10	0	686
%	67,78	13,70	17,06	1,46	0,00	100,00

TPDS	98	Vehículos
Factor mes	1,085	
TPDA	**106**	**Vehículos**

TABLA 2.3 TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL - TPDA (Vehículos)

	Livianos	Buses	CAMIONES			TOTAL
			2 Ejes	3 Ejes	> de 3 Ejes	
Vehículos	72	15	18	2	0	**106**
%	67,78	13,70	17,06	1,46	0,00	**100,00**

En lo que refiere a otras cualidades de la vía y continuando el recorrido de la misma, en el kilómetro 31+000 se pudo encontrar la mina utilizada para la conformación original de la estructura de la vía. Sin embargo se nos comentó por parte de los técnicos del Gobierno Provincial, que, a partir del derrumbe suscitado en el kilómetro 24+500 y considerando las condiciones aceptables de la vía a partir del kilómetro 30+000 esta mina es menos utilizada que la anteriormente descrita. (IMAGEN 2.16).



IMAGEN 2.16

En lo que respecta a la estructura de la calzada, en los dos puntos analizados, se encontraron particularidades y diferencias marcadas. En la muestra obtenida en el kilómetro 21+500, que es una zona mucho más cercana a la laguna de Cuicocha y por ende presenta un microclima característico del páramo andino, siendo húmedo y lluvioso, excavamos una profundidad de 50cm para poder observar las capas conformadas, de esta manera se pudieron diferenciar dos capas marcadas de

material granular utilizado para el mantenimiento. La primera capa de 30cm de espesor bien definido, cuyo material pertenece a la mina del km 24+500. La segunda de un material de características visuales diferentes, de 10cm de espesor, perteneciente a la mina del kilómetro 31+000.

La segunda muestra de capa de rodadura, se la obtuvo del kilómetro 34+000. En este punto se pudo diferenciar una sola capa marcada de 20cm de espesor con material de la mina del kilómetro 31+000. Cabe recalcar que el material de esta zona se presentaba mucho más compacto y en términos generales con un acabado bastante bueno como capa de rodadura.

Las coordenadas de inicio y final del tramo, para Datum WGS 84 y zona 17 son:

INICIO Cuicocha Latitud 32.350N Longitud 795 .000 E 3080 msnm.

FINAL Apuela Latitud25.600N Longitud 764.000 E 1660 msnm

En conformidad con los datos proporcionados por el Gobierno Provincial de Imbabura.

Esta vía es muy sinuosa y la pendiente longitudinal máxima está entre el 12% y el 18% en tramos críticos entre San Antonio de Pucará y Santa Rosa de Plaza Gutiérrez. El radio mínimo de curvatura es de 20 metros, en el sector de Tablachupa. En la abscisa 30+000 entre La Delicia y Santa Rosa, existen taludes de 40metros de alto, que coinciden con el menor ancho de vía (3.00 metros), lo que determina que la vía sea peligrosa por sus características físicas.

En la actualidad, no existe señalización vial, lo que ha ocasionado innumerables accidentes de tránsito. La señalización vial sirve para indicar al usuario de las vías, las precauciones que debe tomar en cuenta, las limitaciones que gobiernan el tramo de circulación y las informaciones estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de las carreteras; en esta vía es indispensable la implementación de esta señalización en el trazado geométrico de la misma.

Nuestro interés primordial con el análisis de la capa de rodadura de esta vía, es tener un amplio espectro de resultados de manera que podamos contrastar los resultados obtenidos con un tráfico liviano en esta vía y con el tráfico pesado de la vía Otavalo – Selva Alegre, en términos de las diferencias marcadas por los distintos niveles de compactación del material en condiciones climáticas y geográficas similares.

CAPÍTULO III.- EL CEMENTO COMO MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE CAPAS DE RODADURA

3.1. Historia

3.1.1. El Cemento como lo conocemos hoy en día

A lo largo de la historia, el proceso de llegar a obtener el cemento como lo conocemos hoy en día, tomó miles de años. Desde tiempos ancestrales el hombre buscó obtener una pasta adecuada que le permitiera unir los distintos tipos de mampostería que producía, buscando siempre una versatilidad en su colocación, una fácil obtención y más que nada una durabilidad que justifique sus métodos de obtención.

En el transcurso de esta búsqueda, se utilizaron materiales fácilmente localizables en la litósfera, que, a través de procesos sencillos de transformación y manufactura, pudieran ser adoptados como "pastas" de liga de todo tipo de mampostería. Sin embargo estos materiales, si bien eran de fácil obtención y manufactura simple, no proveían de la resistencia necesaria de durabilidad.

En la práctica la obtención del cemento, como todo gran descubrimiento a lo largo de la historia, sería una "casualidad". No es sino hasta el siglo I a.C en Santorini, un Estratovolcán, que constituye un archipiélago circular, el cual durante esa

época formaba parte de la Grecia Antigua, que como resultado de sus sucesivas erupciones y actividad constante, los griegos descubrirían el primer "cemento natural" propiamente dicho. A pesar de que los Griegos no llegaron tan solo al punto de obtener la pasta cementante sino fueron más allá, y obtuvieron una especie de hormigón pobre, se los considera como los precursores formales de la obtención del cemento como lo conocemos hoy en día.

Con la conquista de la Grecia Antigua por parte del Imperio Romano, y la adopción de la cultura en general de los griegos, son los romanos quienes dieron un desarrollo aún mayor a este descubrimiento que revolucionó la historia. Serían los romanos quienes desarrollarían rápidamente métodos alternativos de obtención de una pasta cementante, mediante la utilización de las cenizas volcánicas de los volcanes que hasta en la actualidad se pueden encontrar en ese sector de Europa. Es importante recalcar que el uso de estas cenizas, que en la actualidad se conocen como puzolanas, después de dos mil años continúa siendo la base del cemento actual.

Con este gran avance y gracias a la bonanza económica y cultural del Imperio, se llegarían a construir obras monumentales como el Anfiteatro Flavio también conocido como el Coliseo Romano, las termas romanas y sus famosos acueductos, testigos históricos de las bondades de este material de construcción.

Tras la caída del Imperio Romano y en medio del oscurantismo de la época medieval, no se pudo obtener un amplio desarrollo en esta materia, el uso del cemento en general fue muy escaso, y durante más de mil años su perfeccionamiento fue prácticamente nulo. Es importante recalcar que durante esta época se utilizó mucho la construcción con adobe, y, que el cemento como parte del hormigón, era utilizado para la constitución de cimientos de edificaciones nada más.

No sería sino hasta 1824 cuando los "padres del cemento moderno", los británicos Joseph Aspdin y James Parker, obtienen el denominado Cemento Portland el cual recibe su nombre debido a la coloración gris que posee, muy similar al paisaje de la Isla de Portland en el Reino Unido. En 1845 Isaac Johnson, otro investigador británico, obtendrá la base fundamental del cemento mediante el desarrollo y obtención del denominado Clinker Portland. La gran virtud de este investigador británico fue el determinar las proporciones adecuadas de Silicatos, Aluminiatos y Férrito aluminiatos cálcicos para obtener una pasta cementante más duradera que la alcanzada por Aspdin y Parker.

Como se puede observar, no sería hasta mediados del siglo XIX y tras dos mil años de su descubrimiento que el cemento obtendría su modelación final como lo conocemos hoy en día. Del Clinker obtenido por Johnson variarán los porcentajes de aplicación de Silicatos, Alumiatos y Ferrialuminiatos, se añadirán puzolanas y cenizas volantes y se disminuirán temperaturas de cocción al horno, más con un

ánimo de protección ambiental, tan común en nuestros tiempo actuales, que con la necesidad de variar los componentes básicos del cemento para obtener mayor resistencia o durabilidad.

3.1.2. El Cemento y su aplicación en vías como material de mejoramiento

Las primeras noticias de la utilización de una mezcla de cemento y suelo con fines viales, aparecen en aplicaciones efectuadas en el año 1915, en distintas calles de la localidad de Sarasota en Florida. En los dos años posteriores a esto, se realizaron trabajos pequeños en otras ubicaciones de los Estados Unidos y de igual manera en Inglaterra. Es así que en 1917 Joseph Hay Amies patenta el primer procedimiento de mezcla del cemento con suelo como material de mejoramiento.

Es curioso el desarrollo del uso del cemento como material de mejoramiento, puesto que su mayor aplicación no se ha dado en el mejoramiento de capas de rodadura, sino en mejoramiento de Bases y Sub-bases, sin embargo en estos primeros experimentos a inicios del siglo XX se buscó estabilizar las huellas que dejaban los vehículos pesados sobre las superficies de rodadura de varios caminos, precisamente en donde este trabajo investigativo hace hincapié. Es así que desde estos momentos a principio de siglo, se realizaron muchos esfuerzos para combinar el cemento con el suelo de capas de rodadura, bases y sub-bases con el fin de producir un material de bajo costo para pavimento, ya que resultaba evidente que la utilización a gran escala de suelo con pequeños porcentajes de

cemento en su estructura en los caminos, se traduciría en un abaratamiento sustancial en el costo de los pavimentos.

El desarrollo de esta clase de muestras, se vio favorecido por el descubrimiento realizado por P.R. Proctor en 1919 relativo a las relaciones humedad-densidad, lo cual posibilitó el control de la compacidad. Este procedimiento de control de calidad se vio complementado con los ensayos o pruebas de durabilidad en ciclos de humedecimiento, secado, congelación y deshielo.

De esta manera, en 1935, la Portland Cement Association da a conocer un manual de investigaciones en el que se incluían muchos trabajos de estabilización, siendo esto un completo éxito, desarrollándose de esta manera los principios de control que fueron volcados en las normas de la A.S.T.M. En base a este manual, a finales de ese año, un tramo de 2.4 kilómetros en la ruta estatal 41 en Carolina del Sur fue liberado, este tramo utilizaba los principios de la estabilización del suelo con el uso de cemento.

Durante la Segunda Guerra Mundial se usó la técnica de suelo mejorado con cemento, para el desembarco de todos los equipos bélicos que traían las tropas aliadas en las costas del Pacífico y en especial en Normandía. Allí se trataban con cemento las orillas de las costas, de una manera empírica con un gran exceso de cemento, de manera que pueda endurecer rápidamente la superficie de contacto de las vías que debían utilizar estos gigantescos equipos bélicos al desembarcar. De

igual manera en las rutas de movilización seleccionada, se enviaban equipos técnicos para aplicar esta metodología en las vías pantanosas que se debían atravesar.

Después de la guerra, quedaron abandonadas estas vías mejoradas en base a cemento, muchas de ellas sin embargo conectaban pequeñas poblaciones alemanas y francesas como vías de segundo y tercer orden. Es así que en la década posterior, se asfaltaron las mismas, con la base del suelo cemento utilizado, descubriéndose una mejoría enorme en la calidad de la base del pavimento.

Desde esa época el mejoramiento de bases, sub-bases y capas de rodadura en base a cemento, ha experimentado un impresionante crecimiento, que constituye un verdadero récord. Sin embargo siempre es importante recalcar que el comportamiento de estos miles de proyectos materializados, ha dependido tanto de la adecuada calidad del suelo cemento producido como de las operaciones de colocación y terminación del mismo en el camino; lo cual es el motivo principal del presente trabajo investigativo, determinar si las características del suelo estudiado, en combinación con pequeños porcentajes de cemento justifican un mejoramiento adecuado y suficiente. Adicionalmente es importante mencionar que una adecuada técnica de mezclado es fundamental para obtener resultados positivos en estas prácticas de mejoramiento.

Durante estos trabajos de investigación realizados durante todos estos años, también se estudió la evolución de las máquinas americanas y alemanas para la estabilización de suelo en general, llegándose a construir maquinaria británica para la pavimentación con suelo mejorado con cemento por el método de mezcla en sitio, que ejecuta el trabajo en una sola pasada, en un espesor de hasta 20 centímetros. El desarrollo de la maquinaria adecuada para la disposición del cemento en la vía ha sido esencial, se han podido definir dos procedimientos básicos para lograr la disposición en la vía:

- Procesos de mezcla "en camino", con maquinaria de operación continua sobre la vía, las mismas que escarifican un determinado espesor de suelo y lo mezclan directamente con la cantidad de cemento y agua proyectada.
- Procesos en base a una planta estacionaria, donde se realiza la mezcla del suelo, con el cemento respectivo para su mejoramiento.

En el caso particular del presente estudio y considerando la propuesta del mejoramiento del suelo de una capa de rodadura, es el primer procedimiento el que se adapta más fácilmente a las necesidades, y es justamente éste el que ha tenido mayor desarrollo durante el último siglo. El concepto de una "mezcladora de tránsito" nace a partir de los cultivadores de rotación que se utilizan en la agricultura. De esta forma en 1938 y tras los grandes avances del mejoramiento del suelo con cemento en el año 1935, muchos contratistas y constructores viales,

tomaron el concepto y modificaron los cultivadores, obteniendo de esta manera los primeros pulvi-mixers.

Con el desarrollo acelerado de la industria petrolífera, avances en asfaltos y mejoras significativas en aditivos para derivados del petróleo, la utilización de cemento como material de mejoramiento de capas de rodadura y para mejorar bases y sub-bases fue perdiendo peso sin embargo se realizaron importantes trabajos en Louisiana en 1942 y en Nevada durante 1970.

En 1981 nuevamente así como había sido pionera en 1915 el Departamento de Transporte de Florida, realizó una escarificación y reciclado de pavimento flexible, a este material obtenido, se le agregó un porcentaje de cemento mezclado con suelo fino obteniendo resultados alentadores que fueron documentados. En base a esta experiencia previa en el año de 1987 se realizaron dos proyectos de escarificación de pavimento flexible y reciclado esta vez fue una sección de 13 kilómetros en Martin County, y un tramo más extenso de 64 kilómetros cerca la localidad de Palm Beach, precisamente éste último tramo se consolidaría como una base importante para la aplicación de esta técnica, debido al alto Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) que la vía sostenía en esa época de alrededor de 2000 vehículos, de los cuales el 15% eran camiones y tráfico pesado. El hormigón asfáltico reciclado en el lugar, consistía de una base de arena con recubrimiento bituminoso de alrededor de 100mm de espesor. En este sector de Palm Beach debido a la cercanía del mar a la zona de construcción de la vía, el nivel freático

tan cercano en suelos inestables no permitía un mantenimiento sencillo, por tanto la rasante continuamente presentaba irregularidades considerables y la vía pasaba en un mantenimiento continuo, por tanto el Departamento de Transporte de la Florida solicitó una solución a largo plazo. Se propusieron dos potenciales soluciones: La primera consistía en remover toda la base y sub base, y realizar un remplazo íntegro con el doble del espesor existente, esto era la remoción de alrededor de 65cm de material, y suponía la colocación de más de 1 metro de base y sub-base. La segunda solución, y, en base a los resultados obtenidos en 1981, suponía la escarificación y reciclado del antiguo pavimento flexible con su carpeta asfáltica con la introducción de cemento y suelo fino. Se realizó la selección de esta opción particular debido a que el constructor entre otros requerimientos, al terminar el día, debía rehabilitar el tráfico en un ancho de al menos 3 metros. Cuatro horas antes de permitir la circulación vehicular se mantuvo hidratada y curada la mezcla de cemento, suelo y material escarificado, esto se logró mediante riegos superficiales planificados y continuos. A la mañana siguiente se impermeabilizó la estructura con un riego simple de asfalto con característica de curado rápido, de manera que se pueda mantener la humedad necesaria para el curado constante. Finalmente la estructura generada como base, fue cubierta con una espesa capa de hormigón asfáltico y se abrió al tránsito.

Esta metodología usada en este caso particular del uso del cemento como método de mejoramiento de una base, fue de gran utilidad debido a su rápida disposición y

como solución a la problemática particular que presentaba el suelo del sector, debido a su alto nivel freático, su colocación fue rápida y la solución viable.

En Sudamérica también se ha podido obtener experiencia de la utilización de cemento para el mejoramiento de bases y capas de rodadura. Argentina ha sido la pionera en la aplicación de estas metodologías en el continente, cubriendo grandes tramos de su sistema vial con material granular mejorado con la incorporación de cemento.

A continuación se citan tramos que el ICPA (Instituto del Cemento Portland Argentino) considera en su base de datos de vías de lastre y material granular mejoradas con cemento:

- Tramo demostrativo en la localidad de Recalde – Pdo. de Olavarría. Pcia Bs. As.
- Tramo en el camino de acceso al Balneario Salto de Piedra – Pdo. de Olavarría. Pcia Bs. As.
- Caminos interiores en el Aero Club sobre RP6 en Gral. Rodríguez. Pcia Bs. As.
- Acceso a Expochacra 94, Venado Tuerto, Pcia. de Santa Fe.
- Acceso a propiedad privada desde ruta Luján - Navarro a 22 km del empalme con RN5. Pcia Bs. As.
- Tramo a la localidad de Los Cisnes, Pcia. de Córdoba.
- Acceso a planta Sancor en la Localidad de La Tordilla, Pcia. de Córdoba.

- Tramo experimental sobre calle Langostinos y Mejillones en la ciudad de Pinamar. Pcia. de Bs. As[2].

3.1.3. Experiencia en el Ecuador con el uso del cemento en vías

Debido a su calidad de país petrolero, el Ecuador ha tenido desde la década de los 70's un acceso relativamente sencillo al petróleo y todos sus derivados, debido a esto la gran cantidad de trabajos y proyectos viales han sido realizados en base a asfalto y en pavimento flexible. En caso de vías de bajo volumen de tráfico históricamente se ha realizado el "lastrado" de las vías en base a material granular obtenido de las minas próximas a las mismas, y en la mayoría de los casos sin respetar la granulometría exigida por el MOP 001F-2002. Estos procesos de lastre en este tipo de vías, si bien se presentan como una solución económica, son a corto plazo, debido a que no se logra constituir una estructura resistente.

Es así que en el transcurso del año 2009 y debido al fuerte invierno que golpeó a la provincia justamente en la vía Otavalo – Selva Alegre a partir de la abscisa 0+059 se realizó la aplicación de cemento en la vía en un tramo de 9 kilómetros con el fin de que se pueda mejorar el estado de la vía debido a las fuertes lluvias, sin embargo los casi 40.000 sacos de cemento, donados por Lafarge para el proyecto, se lavaron por circunstancias que motivaron el presente estudio y cuyas conclusiones respectivas podrán encontrarse en capítulo 5 del presente trabajo.

[2] Revista Cemento Año I, Nº 2

Ésta ha sido la única aproximación de mejoramiento de una capa de rodadura con cemento que se ha podido tener referencia en el país y que lamentablemente no fue satisfactoria.

3.2. Técnicas y Empleo

3.2.1. Suelo-Cemento

Es importante diferenciar la aplicación de suelo-cemento para la construcción de carreteras y de la adición de cemento para el mejoramiento de las condiciones geomecánicas del suelo de la vía. El empleo de suelo-cemento para la construcción de carreteras, depende del tipo de suelo, de las condiciones de obra y del tráfico previsto. En estos casos, se realiza una mezcla de cemento y suelo seleccionado para que la mezcla en conjunto al ser adicionada, mejore las características de la base y sub-base granular de una estructura de hormigón asfáltico. En el caso particular de la aplicabilidad de cemento propuesta, se determina la aplicación íntegra de cemento con el material de la rasante para que el material de la capa de rodadura de la vía, al ser mezclada con cemento, cambie sus características, por ende, en ningún momento se realiza la mezcla de cemento con otro suelo para ser agregado a la estructura de la capa de rodadura de la vía.

Durante las últimas décadas, se ha orientado la aplicación del suelo y el cemento para la construcción de bases resistentes en vías de primer orden. Considerando las características inherentes de las vías estudiadas, se ha planteado la adición del

cemento para la conformación de una superficie de rodadura más resistente y duradera que la obtenida mediante la aplicación de material granular íntegro. Nuevamente es importante recalcar que en ningún momento se está utilizando "suelo-cemento" propiamente dicho.

3.2.2. Aplicabilidad

En la generalidad de los casos, la estabilización de cualquier suelo mediante la adición de cemento, requiere de un estudio de las características geomecánicas del suelo (límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, granulometría y contenido de finos). En el presente estudio, se propone la adición del cemento directamente sobre la superficie de rodadura buscando una mejora en las características de la rasante, midiendo el desempeño del material mejorado en relación directa a la nueva resistencia a la compresión obtenida del ensayo de laboratorio.

3.2.3. Cemento

Otro de los factores importantes a ser considerado, es la cantidad de cemento a ser adicionada, sin lugar a dudas y debido a sus características, la adición de grandes cantidades de cemento, se reflejará en una mejoría notable en la resistencia a la compresión del suelo. Sin embargo, es importante considerar que, a pesar de que

el factor determinante a medir es la resistencia a la compresión, el añadir cemento genera cambios en las propiedades básicas de los suelos.

Por otro lado, y, en base al análisis de diferente normativa y de distintos criterios, la adición de cemento en grande cantidades, puede rigidizar en exceso la capa de rodadura de la vía, considerando la necesidad de cierta flexibilidad ante la presencia de esfuerzos, esta gran rigidez, puede traducirse en agrietamiento inmediato de la superficie de rodadura, permitiendo el ingreso de aguas lluvias que destruirán rápidamente la estructura del pavimento.

Otro elemento a considerar, dadas las condiciones de las vías de bajo volumen de tráfico, es fundamental, es la factibilidad económica de la adición de cemento. Si los resultados obtenidos arrojan la necesidad de la utilización de gran cantidad de cemento, la solución no se presenta como viable por cuanto el impacto económico que tendría la adquisición de ese volumen de cemento no justificaría la aplicación del método seleccionado.

En virtud de estos factores, y, en especial de la factibilidad económica, en los ensayos realizados se adicionó un 3%, 4% y 5% de cemento en volumen, esperando que los resultados arrojen un rango de valores que se encuentren enmarcados dentro de la normativa seleccionada para el mejoramiento de capas de rodadura con la adición de cemento.

El efecto del cemento cuando se mezcla con el suelo, es aumentar el tamaño medio de las partículas al formar conglomerados de suelos con ellas. De esta forma, se dan nuevas propiedades como una estructura de suelo y cemento en conjunto. En relación a esto, se ha investigado la experiencia realizada en algunas carreteras en donde la capa de rodadura mejorada con cemento, se ha fisurado deliberadamente entre 3 y 4 semanas posterior a la extensión del material cementante. En estos casos, cuando el suelo estabilizado quedaba convertido en terrones de alrededor de 5 cm de tamaño, se volvía a compactar, generalmente obteniendo un mejor acabado de la superficie inicial, puesto que se permitía perfilarla más fácilmente y se evitaba el cuarteamiento. No se tienen registros de la durabilidad de estos caminos posterior a la nueva compactación, sin embargo, de los avances actuales en la materia, es importante considerar que la aparición de fisuras podía deberse a la sobre rigidización de la superficie de rodadura por exceso de cemento.

3.2.3.1. Acción del cemento en los suelos

Se puede decir que el efecto del cemento en el suelo es bastante parecido a la acción que genera la cal sobre un suelo estabilizado.

Existe una primera etapa, el intercambio iónico, donde el intercambio de cationes produce justamente las modificaciones en el suelo y posteriormente, en una

segunda etapa una cementación más activa y más rápida que la producida por la cal, que químicamente es de otro tipo.

Las primeras experiencias de mezcla de suelo y cemento que se realizaron, persiguieron algunos propósitos, como el de la investigación química que se refirió anteriormente. Dentro de ellos se buscaba establecer las relaciones humedad-densidad del suelo y si la humedad de compactación óptima del mismo, era suficiente para una correcta hidratación del cemento, además se buscaba conocer en qué forma variaba la acción del cemento o la cantidad del mismo con los diferentes tipos de suelos.

Los resultados que se hallaron, fueron que la relación humedad-densidad, se cumplían en la mezcla de suelo y cemento, situación que de igual forma sucedía en el suelo solo, es decir, que se obtenía la característica curva del tipo parabólico que se obtiene compactando un suelo. Por tanto las cantidades de agua cuando se agregaba la humedad óptima del suelo, era más que suficiente para hidratar al cemento y que practicante era de 3 a 10 veces la estrictamente necesaria para hidratar la mezcla.

Se determinó también, como era de esperarse, que todos los resultados eran variables en función del tipo de suelo utilizado, sin embargo, la mayoría de suelos que se presentan normalmente en la naturaleza pueden ser mejorados sustancialmente con la adición de cemento en distintos porcentajes.

Se demostró mediante estos ensayos que existen 3 parámetros fundamentales que deben tenerse en cuenta para el mejoramiento de un suelo en base a cemento de manera que se obtenga una estructura estable y durable:

- Incorporación de humedad óptima.
- Compactación uniforme a máxima densidad.
- Incorporación de cemento suficiente para conseguir un aumento en la resistencia.

Los ensayos completos de las mezclas de suelo y cemento, no se enfocan únicamente en la durabilidad, sino que miden esencialmente la resistencia estructural del material. En este punto, para fines de mejoramiento de propiedades del suelo, se consideraba que la resistencia a la compresión de la mezcla tenía un significado relativo, que grandes resistencia a la compresión con un suelo, no indicaban necesariamente que ese material era apto para ser utilizado, sin embargo, en base a los último adelantos de la aplicación de cemento para el mejoramiento de capas de rodadura, la resistencia que la mezcla presente a la compresión, es un factor clave que se encuentra normado con un límite superior e inferior de resultados permitidos.

De hecho en el pasado, siempre se consideró que existía una relación directa entre la resistencia a la compresión y la durabilidad del material, discriminándolo únicamente por tipo de suelo, es decir, que esto era aplicable para los suelos

granulares. Sin embargo, la experiencia actual en la práctica, como se mencionó anteriormente, ha determinado que una gran resistencia a la compresión no necesariamente determina una gran durabilidad por cuestiones de rigidez y viceversa, una resistencia menor, no necesariamente significa una pobre durabilidad por la flexibilidad que puede aportar la estructura en la práctica. Esencialmente, por esta razón, como se mencionará en el numeral 3.3 del presente documento, la norma tomada como referencia, Española, que contemplan la adición de cemento para capas de rodadura, poseen un nivel máximo y un nivel mínimo que deben arrojar los resultados de la resistencia a la compresión de probetas mejoradas con cemento.

3.2.4. Métodos de Empleo

Considerando el objetivo inicial de mejoramiento en base a cemento, se han determinado dos procedimientos efectivos para tal virtud:

- Mezcla “in situ” con maquinaria móvil.
- Mezcla “in situ” con maquinaria fija.

En países con acceso a tecnología avanzada, el método más utilizado es el de mezcla con maquinaria fija, sin embargo, para grandes tramos, se emplean mayoritariamente los equipos móviles. La adición del cemento debe seguir un procedimiento lógico aconsejable de la siguiente manera:

1. Preparación y limpieza previa
2. Perfilamiento del camino transversal y longitudinal
3. Escarificación de la capa de rodadura

4. Distribución del cemento Portland
5. Mezcla e incorporación de la humedad
6. Compactación
7. Terminación
8. Curado

Estos procedimientos se deberán realizar independientemente del tipo de mezcla considerada.

Si la maquinaria es fija, posterior a la escarificación, se introducirá el material escarificado en la mezcladora y el volumen de cemento adecuado para obtener el porcentaje calculado para que sea mezclado con el contenido de humedad indicado.

Si la mezcla se la hace con equipo móvil, se escarificará, distribuirá, mezclará e incorporará la humedad necesaria en cada pasada de la máquina ya seleccionada para este objeto.

3.3. Normativa

Como se mencionó anteriormente, la gran aplicación que se ha dado a la adición de cemento para el mejoramiento de una vía, se enfoca en la obtención de mejores bases y sub-bases. Por esta razón, la mayor parte de normativa nacional e internacional, posee regulaciones para este ámbito de la estructura del pavimento.

En el Ecuador, el Libro Amarillo, o MOP 001-F-2002, posee una sección dedicada al mejoramiento de bases y sub-bases granulares mediante la adición de

cemento en diferentes porcentajes. Sin embargo, no se especifica ni se regula en ninguna sección el mejoramiento de la capa de rodadura de una vía mediante la adición de cemento en distintos porcentajes.

En tal virtud, se ha realizado una investigación de normativa internacional que considere la adición de cemento como mejoramiento de capas de rodadura mediante la determinación de uno o varios parámetros a cumplir. Como resultado de esta investigación, se encontró que la Norma Española de vías posee un capítulo entero dedicado a regular la aplicación del cemento en la capa de rodadura de vías de bajo volumen de tránsito.

Como era de esperarse, en base a los criterios expuestos anteriormente de rigidez y flexibilidad en la estructura, estas normas internacionales, regulan la resistencia a la compresión del suelo mezclado con cemento como parámetro fundamental a ser cumplido y ejecutado.

Es importante mencionar que si bien la Norma Española permite la utilización de cemento como material de mejoramiento de capas de rodadura, la misma exige que la mezcla de material granular y cemento se proteja con un doble riego de imprimación (bicapa) para evitar desgastes prematuros de la superficie de rodadura por exposición a los agentes externos. De igual manera es factible considerar que en España las vías que pueden recibir este tratamiento son las

denominadas “Tráfico Pesado T42” que consideran tráficos de intensidad reducida. (menor que 100 vehículos/carril/día).

Finalmente es importante mencionar que la denominación C3 a la que se hace referencia a lo largo de este estudio se la ha tomado en base a la Clasificación Funcional de las Vías del Ecuador de la Nueva Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12, que denomina así a las vías con tráfico inferior a 500 vehículos por día.

CAPÍTULO IV.- EL CEMENTO COMO MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE CAPAS DE RODADURA

4.1. Muestreo

4.1.1. Procedimiento

Para obtener las muestras que permitirán obtener resultados a los objetivos planteados en nuestra disertación procedió de la siguiente manera:

- Reconocimos las dos vías en su totalidad para darnos una idea general del estado, del material de la capa de rodadura y de la estructura de las mismas.
- Escogimos puntos estratégicos en cada una de las vías de manera que representen el material usado para la conformación de cada una de ellas. También se tomaron muestras de las minas utilizadas para obtener el material de mantenimiento de las calzadas.
- Para obtener el material en cada punto, primero tomamos todas las medidas de seguridad, de manera que el tráfico existente se diera cuenta de que hay trabajos en ejecución en la ruta y así disminuyan la velocidad.
- Después procedimos a abrir una calicata de tal profundidad como sea la estructura de la vía, de está manera determinamos la altura total de la calzada, el número estratos, y grosor de cada uno de ellos.

- Antes de marcharnos, cubrimos el bache dejando la calzada tal como la encontramos, de manera que no haya accidentes con los usuarios de la vía.
- Al material obtenido lo clasificamos y lo pusimos en recipientes para que se realicen los ensayos pertinentes en el laboratorio.

4.2. Clasificación de Suelos

Para saber a qué superficie nos estamos enfrentando, es preciso realizar una clasificación de suelos, para esto se puede seguir varios métodos, pero el más recomendado y utilizado es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.). A continuación se expondrá una idea rápida de qué es la clasificación de suelos y como se la realiza.

> "Debido a la gran diversidad de suelos que se presentan en la naturaleza, la Mecánica de Suelos ha desarrollado varios a métodos para poder clasificarlos. Cada uno de estos métodos tiene, prácticamente, su campo de aplicación según la necesidad y uso que se los haya fundamentado. Y así se tiene la clasificación de suelos según el tamaño de partículas, la clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Caminos Públicos (American Association of State Highway Officials), la clasificación de la Administración de Aeronáutica Civil (C.A.A.), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), etc. La existencia de esta variedad de sistemas de clasificación de suelos se debe, posiblemente, al hecho de que tanto el ingeniero civil como el geólogo y el agrónomo analizan el suelo desde diferentes puntos de vista. Sin embargo, lo que es fundamental es el hecho de que cualquier clasificación que quiera abarcar las necesidades correspondientes debe estar basada en las propiedades mecánicas de los suelos, ya que éstas son elementales en las variadas aplicaciones de la ingeniería. Aunque hoy día es casi aceptado por la mayoría que el S.U.C.S. es el que mejor satisface los diferentes campos de aplicación de la Mecánica de Suelos, se hará una explicación somera de las clasificaciones mas importantes" *(Crespo, 2004, pág. 87).*

4.2.1. Clasificación por Tamaño de las Partículas



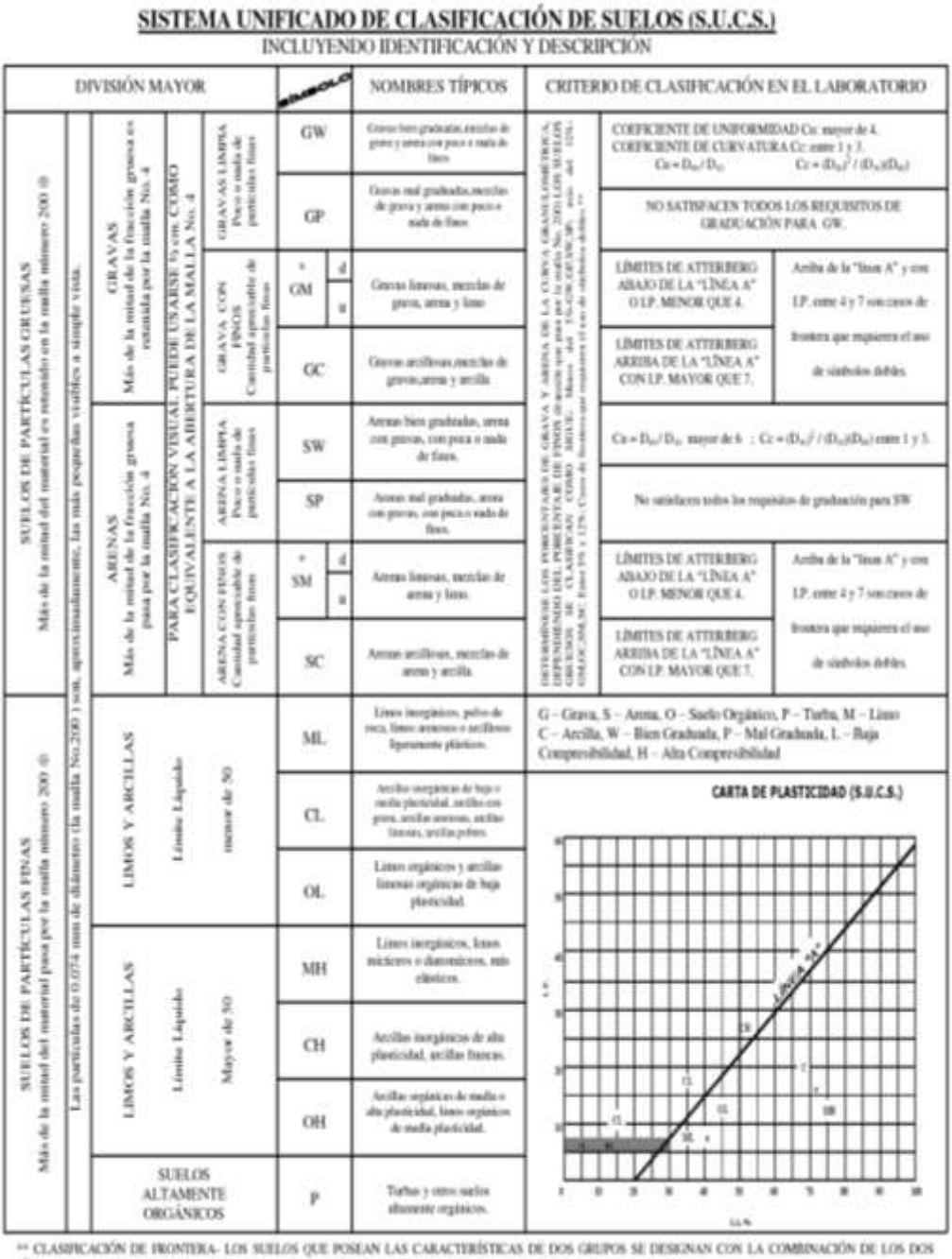
IMAGEN 4.17 – DIAGRAMA TRIANGULAR

"Los resultados obtenidos de la prueba de granulometría por sedimentación se aplican en el diagrama triangular (IMAGEN 4.17) de la clasificación de suelos dada por la Comisión del Rio Mississippi y con ellos se obtiene la clasificación del suelo.
Para clasificar el suelo se toma el porcentaje de arena, limo y arcilla sobre escala del lado correspondiente del triángulo, se trazan tres rectas (como se muestra en la figura) y su pinto en común da la clasificación del suelo. Esta clasificación es la más sencilla de todas pero tiene el problema que su relación con las principales características físicas del suelo es indirecta, pues el tamaño de los granos es sólo uno de los diferentes factores de los cuales dependen ciertas propiedades físicas importantes de los suelos, tales como la permeabilidad y la cohesión" *(Crespo, 2004, 87-88).*

4.2.2. Sistema Unificado de Clasificación (S.U.C.S.)

"Este sistema fue presentado por Arthur Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en 1942 para aeropuertos" *(Crespo, 2004, 88-89).*

El gráfico expuesto a continuación presenta la clasificación del sistema unificado.



SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)

INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR					SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ①		GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc entre 1 y 3. $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2/(D_{10}xD_{60})$	
					GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.	
				GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GM * d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
					GM * u			
					GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4		ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	$Cu = D_{60}/D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2/(D_{10}xD_{60})$ entre 1 y 3.	
					SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW	
				ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SM * d	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
					SM * u			
					SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ①	Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50			ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad	
					CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)	
					OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50			MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos.		
					CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
					OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS			P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		

** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS. POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

① TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.

* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFIJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 Ó MENOS Y EL I.P. ES DE 6 Ó MENOS. EL SUFIJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

IMAGEN 4.18 – TABLA DE CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA UNIFICADO

4.2.2.1. Suelos Gruesos

"En los suelos gruesos se tienen las gravas (G) y las arenas (S) de tal modo que un suelo pertenece al grupo de las gravas (G) si más de la mitad de la fracción es retenida por la malla N°4, y pertenece al grupo de las arenas (S) en caso contrario.
Tanto las gravas como las arenas se dividen en cuatro grupos (GW, GP, GM, GC) y (SW, SP, SM, SC), respectivamente.
En el símbolo GW, el prefijo G (gravel) se refiere a las gravas y W (well graded) que quiere decir bien graduado. De igual modo, el símbolo GP indica gravas pobremente o mal graduadas (poorly graded gravel), el símbolo GM indica gravas limosas, en la que el sufijo M proviene del sueco mo, y el simbol GC indica gravas arcillosas, siendo el sufijo C que indica que s arcilla (clay).
Asimismo, los símbolos SW, SP, SM, SC indican arenas (sands) bien graduadas, arenas limosas y arenas arcillosas respectivamente.
El criterio de clasificación de estos suelos viene indicado en el lado superior de la tabla" *(Crespo, 2004, 92).*

4.2.2.2. Suelos Finos

"También en los suelos finos el sistema unificado los considera agrupados en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido menor de 50%, en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido mayor de 50% y un grupo para los suelos finos altamente orgánicos. Si el límite líquido es menor de 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad baja o media, se añade sufijo L (low compresibility) a los prefijos M, C y O, obteniéndose de ese modo los símbolos ML (limos inorgánicos de baja compresibilidad) y CL (arcillas inorgánicas de baja compresibilidad) y OL (limos orgánicos de baja compresibilidad).
Si el límite líquido es mayor de 50%, es decir, si el suelo es de compresibilidad alta, se añade el sufijo H (high compresibility) a los prefijos M, C y O, obteniéndose de ese modo los símbolos MH (limos inorgánicos de alta compresibilidad) y CH (arcillas inorgánicas de alta compresibilidad) y OH (limos orgánicos de alta compresibilidad)" *(Crespo, 2004, 92-93).*

4.2.3. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en laboratorio después de los ensayos respectivos de clasificación de suelos

4.2.3.1. Resultados Otavalo – Selva Alegre

TABLA 4.4 – GRANULOMETRÍA

	Km. 29	**Km. 35 (Mina)**	**Km. 46**	**Km. 59**
%Grava	23	44	18	30
%Arena	44	39	52	43
%Finos	33	17	30	17

TABLA 4.5 – CLASIFICACIÓN SUCS

	Km. 29	**Km. 35 (Mina)**	**Km. 46**	**Km. 59**
Clasificación SUCS	SM	SM	SM	SM - SC
Nombre Típico	Arena Limosa con Grava	Arena Limosa con Grava	Arena Limosa con Grava	Arena Arcillo-Limosa con Grava

4.2.3.2. Resultados Cuicocha – Apuela – Aguagrum

TABLA 4.6 - GRANULOMETRÍA

	Km. 21.5	**Km. 24 (Mina 1)**	**Km. 31 (Mina 2)**	**Km. 34**
%Grava	26	46	20	15
%Arena	49	43	35	42
%Finos	25	11	45	43

TABLA 4.7 – CLASDIFICACIÓN SUCS

	Km. 21.5	**Km. 24 (Mina 1)**	**Km. 31 (Mina 2)**	**Km. 34**
Clasificación SUCS	SM	SP	SM	SM
Nombre Típico	Arena Limosa con Grava	Arena Mal Graduada	Arena Limosa con Grava	Arena Limosa con Grava

4.3. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son parámetros que nos permiten caracterizar a los suelos finos según las características que éstos presenten. A continuación una extracción de un libro:

> "La plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, habiendo de recurrir al método descrito por el sueco Atterberg. Este método consiste en definir los límites correspondientes a los tres estados en los cuales puede presentarse el suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites, llamados límites de Atterberg son: el límite de liquidez (LL), el límite de plasticidad (LP) y el límite de retracción (LR). Para respetar las notaciones internacionales más empleadas, LL, LP y LR pueden ser llamados W_L, W_P y W_S.
> La determinación de estos límites se realiza solamente sobre elementos finos que pasan por un tamiz de malla cuadrada de 0.5mm según las normas francesas (tamiz módulo AFNOR n.° 27) o de 0.42mm según normas USA y de los demás países que emplean las medidas británicas. Estos no son, pues, valores representativos del conjunto del suelo y para apreciar todas las características de éste, habría que tener en cuenta la proporción de elementos gruesos y finos que contiene" *(Sanz, 1975, 36).*

4.3.1. Límite Líquido

> "El límite de liquidez se define como la humedad, en relación al peso del suelo seco, que le convierte en suelo líquido.
> Se lo determina con la ayuda del aparato de CASAGRANDE que está compuesto de una pequeña copa metálica unida a un chasis mediante una excéntrica. Haciendo girar una manivela, la excéntrica levanta la copa y la deja caer libremente sobre la bancada desde una altura de 1cm. Sobre la mitad de la superficie se coloca una capa del mortero que se desea estudiar, haciéndole un surco con la ayuda de un instrumento en V. El límite de liquidez se define como la humedad para la cual los dos labios de la fisura se unen con una longitud de 1cm, cuando se ha sometido a la copa a una serie de 25 choques" *(Sanz, 1975, 36-37).*

4.3.2. Límite Plástico

"Se define como la humedad para la cual el mortero se convierte en plástico, es decir, se puede amasar todavía antes de perder coherencia. Experimentalmente el límite de plasticidad es la humedad que permite amasar el suelo sin deshacerlo en moldes de 3mm de diámetro" *(Sanz, 1975, 37).*

4.3.3. Limite de Retracción o Contracción

"Es la humedad para la cual el suelo se fisura y pierde su coherencia por falta de agua. Se lo define como la humedad justa y suficiente para llenar los poros del suelo cuando ésta alcanza su volumen mínimo. Es una medida cada vez menos utilizada y que tiende a desaparecer" *(Sanz, 1975, 37).*

4.3.4.Índice de Plasticidad

"Además del Límite Liquido y del Límite de Plasticidad, una característica muy interesante es el Índice de Plasticidad IP que se define como la diferencia ente LL y LP:
IP = LL – LP
El índice de plasticidad permite clasificar bastante bien a un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por lo contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. Sobre todo esto se puede dar la clasificación siguiente:
IP > 20 suelos muy arcillosos
IP > 10 suelos arcillosos
IP < 4 suelos poco arcillosos
IP = 0 suelos exentos de arcilla
Para determinar si es limo, se compara el límite líquido con el índice de plasticidad, así:
Señalaremos que solo hay límites de Atterberg en índice de plasticidad en suelos que contienen elementos finos de plasticidad (inferiores a 20 micras), pero, sin embargo, se sigue utilizando el índice de plasticidad para suelos que no satisfacen esta condición, diciendo que IP es nulo" *(Sanz, 1975, 38)*

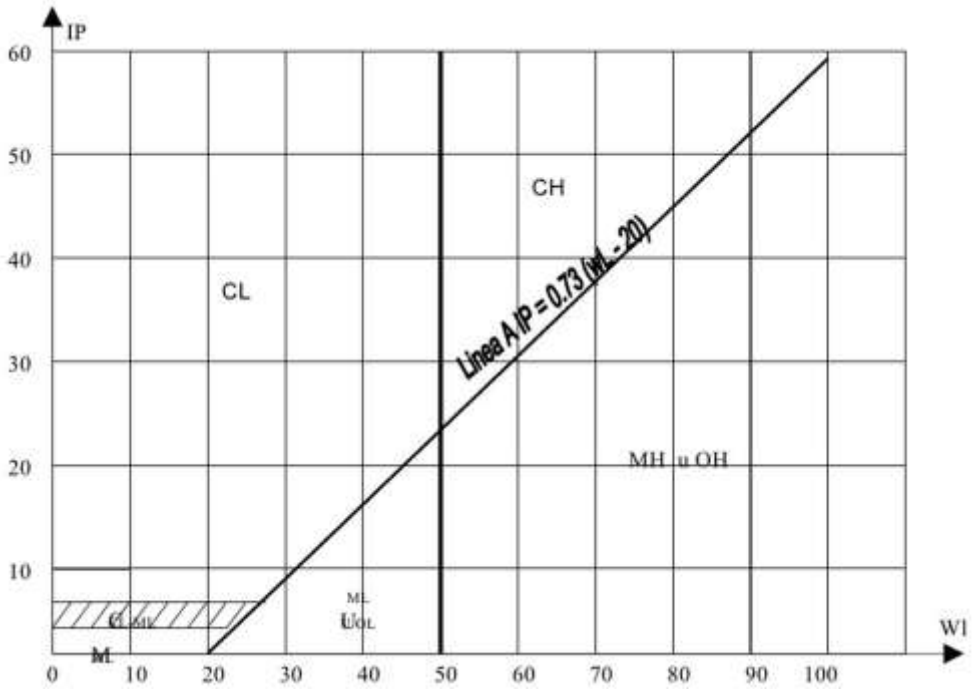


IMAGEN 4.19 – CARTA DE PLASTICIDAD

4.3.5. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en laboratorio después de los ensayos respectivos de clasificación de suelos

4.3.5.1. Resultados Otavalo – Selva Alegre

TABLA 4.8 – LÍMITES DE ATTERBERG

	Km. 29 (Vía)	**Km. 35 (Mina)**	**Km. 46 (Vía)**	**Km. 59 (Vía)**
Límite Líquido	36	25	20	24
Límite Plástico	28	21	17	20
Índice de Plasticidad	7	4	3	4

En base al numeral 513.2.2.3 de la Norma Española adjunta al presente estudio, que considera LL<25 e IP<6 se puede observar que la muestra del Kilómetro 29+000 no cumple ninguno de los dos parámetros mientras que el resto de material ensayado si lo hace.

4.3.5.2. Resultados Cuicocha – Apuela – Aguagrum

TABLA 4.9 – LÍMITES DE ATTERBERG

	Km. 21.5	**Km. 24 (Mina 1)**	**Km. 31 (Mina 2)**	**Km. 34**
Límite Líquido	NP	NP	23	NP
Límite Plástico	NP	NP	20	NP
Índice de Plasticidad	NP	NP	4	NP

En base a los requerimientos del numeral 513.2.2.3 de la Norma Española y considerando los resultados obtenidos, es posible determinar que a pesar de los resultados que se presentarán en 4.5.2.2 respecto a la compresión, desde el punto de vista de plasticidad este suelo no es apto para la aplicación del cemento, por cuanto al no poseer plasticidad puede fracturarse muy fácilmente, lo que en la práctica se vería reflejado en agrietamientos.

4.4. CBR

También conocido como Valor Relativo de Soporte Normal del Suelo

"El valor relativo de soporte de un suelo (CBR) es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad, y se expresa como el

tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo, respecto a la precisa para que el mismo pistón penetre a la misma profundidad de una muestra tipo de piedra triturada. Valor Relativo de Soporte del suelo vale:

$$C.B.R = \frac{P_2}{P_X} * 100$$

Donde P_2 es la carga unitaria de ensayo

P_X es la carga unitaria patrón

Con las diferentes unidades, (Sistema Internacional y Sistema Anglosajón de Unidades) se puede variar en base a la siguiente tabla:

TABLA 4.10 – VALORES DE CARGA UNITARIA CBR

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm	pulgada	Mpa	Kg/cm2	psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,70	0,5	17,90	183,00	2600

Con el fin de saber si la prueba estuvo bien ejecutada se dibuja la curva carga-penetración, anotando en las abscisas las penetraciones y en las ordenadas las cargas registradas para cada una de las dichas penetraciones. Si esta curva es defectuosa se debe probablemente a que la carga inicial de la prueba fue mayor a los 10 kg especificados, debiendo por tanto, repetirse la prueba.

Con el resultado del C.B.R. de esta prueba se puede clasificar el suelo usando la Tabla 4.11, que indica el empleo que puede dársele al material en lo que al C.B.R. se refiere" *(Crespo, 2004, 112-113).*

TABLA 4.11 – CLASIFICACIÓN POR CBR

C.B.R.	Clasificación
0 - 5	Subrasante muy mala
5 -10	Subrasante mala
10 - 20	Subrasante regular a buena
20 - 30	Subrasante muy buena
30 -50	Sub-base buena
50 - 80	Base buena
80 -100	Base muy buena

4.4.1. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en laboratorio después de los ensayos respectivos de clasificación de suelos.

4.4.1.1. Resultados Otavalo – Selva Alegre

TABLA 4.12 - CBR

	Km. 35
95% CBR 0.1”	21,50
95% CBR 0.2"	28,50

4.4.1.2. Resultado Cuicocha – Apuela – Aguagrum

TABLA 4.13 - CBR

	Km. 21.5	Km. 34
95% CBR 0.1"	39,50	25,50
95% CBR 0.2"	58,00	28,50

Considerando las cargas normalizadas para la obtención del CBR, y los tipos de suelos predominante en las vías (mayoritariamente SM) se utiliza el CBR con penetración de 5mm (0.2”). En base a la tabla 4.11 donde se clasifica al suelo en base al CBR obtenido, es posible observar que en el Kilómetro 35+000 de la vía Otavalo – Selva Alegre el material califica para ser una sub-rasante muy buena. Por su parte en la vía Cuicocha – Apuela – Aguagrum el material es variado, siendo posible obtener una sub-rasante muy buena o incluso una base buena en ciertos tramos.

4.5. Compresión simple a probetas

4.5.1. Mejoramiento en base a cemento

Es necesario realizar este ensayo debido a que al agregar cemento al material granular, la humedad de éste se modifica, por lo tanto el realizar un ensayo de CBR no seria correcto, debido a que éste está ligado directamente con la humedad del material. Es por esto que tanto la Norma Ecuatoriana, como la española y panameña sugieren realizar compresión simple y así determinar la carga con la que la probeta falla. Cada una de las normas tiene distintos parámetros y rangos pero algo en que todas coinciden es que a un suelo mejorado con cemento, hay que realizar ensayo de compresión y no CBR.

4.5.2. Resultados

4.5.2.1. Resultados Otavalo Selva-Alegre

TABLA 4.14 – COMPRESIÓN SIMPLE (qu = kg/cm2)

	Km. 29	Km. 46	Km. 59
3%	6,93	15,24	12,07
4%	8,64	20,08	17,36
5%	18,48	23,7	22,98

4.5.2.2. Resultado Cuicocha – Apuela - Aguagrum

TABLA 4.15 – COMPRESIÓN SIMPLE (qu = kg/cm2)

	Km. 21.5	Km. 34
3%	15,33	8,79
4%	21,74	14,50
5%	25,93	22,70

Considerando la importancia de estos resultados para las conclusiones de nuestro estudio, los aspectos importantes sobre los resultados a la compresión de los ensayos se contemplan dentro de los numerales 5.2.1 y 5.2.2 del presente documento.

4.5.2.3. Análisis Económico

El análisis económico presentado a continuación ha sido considerado tomando en cuenta la nueva clasificación funcional de vías contemplada en la Nueva Norma

Ecuatoriana Vial NEVI 12, para vías C3 (TPDA >500). Se tomó como ancho de vía 3 metros por carril con dos espaldones de 0,50m, dando una totalidad de siete metros. Se plantea el mejoramiento de 15cm de espesor. El precio del cemento es el del mercado actual y se usa el 5% de cemento, tomando en cuenta que es el porcentaje mínimo con el que las probetas cumplieron con las normas. El siguiente cálculo ilustra el valor de mejoramiento para 1 metro lineal de vía.

TABLA 4.16 – ANÁLISIS ECONOMICO PARA ML DE VÍA

	UNIDAD	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**PRECIO TOTAL**
Rasanteo	m2	7,00	1,05	7,35
Compactación	m2	7,00	0,90	6,30
Emulsión asfáltica en imprimación	lts	14,00	0,61	8.54
Cemento al 5% - (al peso)	kg	94,50	0,14	13,48
			TOTAL	**$ 35,67 /ml**

A continuación se presenta el análisis para 1 metro cuadrado de vía.

TABLA 4.17 – ANÁLISIS ECONÓMICO PARA M^2 DE VÍA

	UNIDAD	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**PRECIO TOTAL**
Rasanteo	m2	1,00	1,05	1,05
Compactación	m2	1,00	0,90	0,90
Emulsión asfáltica en imprimación	lts	2,00	0,61	1,22
Cemento al 5% - (al peso)	kg	13,50	0,14	1,93
			TOTAL	**$ 5,10 /m^2**

Se presenta a continuación un análisis del costo que significaría como opción la utilización del mejor material que se pueda encontrar en el sector para ser utilizado como mejoramiento de la vía sin la utilización de ningún otro material:

TABLA 4.18 – ANÁLISIS ECONÓMICO PARA BASE CLASE 2

	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Base Clase 2	m3	0,15	15,81	2,37
Transporte	m3-km	6,00	0,23	1,38
			TOTAL	**$ 3,75 /m^2**

Este análisis contempla la utilización de la mejor Base posible que se puede encontrar en la zona, la Base Clase 2, con un mejoramiento de 15 centímetros de espesor y considerando un transporte de 40 kilómetros desde la mina y como media de la longitud total de las vías.

En base a este cuadro es posible concluir que la colocación de una Base de buena calidad incluida el transporte y la disposición en obra sería económicamente más viable.

CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO

5.1. Sobre los intentos de mejoramiento anteriores

Tal y como se había mencionado en el literal 2.1.2 la vía OTAVALO-SELVA ALEGRE fue sometida a un proceso de mejoramiento en base a cemento durante el año 2009, mismo que no logró ser una solución y fue uno de los motivos por los que se fomentó el presente estudio. Realizando un análisis de los procedimientos para el mejoramiento con cemento, en donde el material natural fue escarificado y posteriormente añadido el cemento in situ pudimos observar las siguientes particularidades que fomentaron el potencial fallo de la operación realizada:

- La operación de tendido del material cementante se realizó en un porcentaje menor (3%) al que el material ensayado aprueba cualquier normativa vigente nacional o internacional.

  Si se observan los resultados del numeral 4.5.2.1 para los ensayos de compresión simple del material del Km 59+000 de la vía con el 3% de cemento se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 12Kg/cm^2.

  - Si se considera al MOP-001F-2002 que no presenta regulaciones para mejoramiento de capas de rodadura (calzada), pero si de material de sub-base y base, éste exige que el mismo cumpla con una resistencia a

la compresión simple mayor a 25kg/cm^2 para base (MOP-001-F-2002 404-2.04) aparte de ciertas regulaciones granulométricas.

- De igual manera si se toma como base la Normativa Panameña para estabilización de bases y sub-bases, no se hubiera alcanzado el límite mínimo de resistencia a compresión exigido de 30Kg/cm^2 (Cap.72-3)
- Finalmente tomando como referencia la Norma Española que si considera el mejoramiento con cemento de calzadas, las probetas ensayadas no cumplen, en este caso, el rango mínimo propuesto de resistencia a la compresión simple de 25Kg/cm^2-45Kg/cm^2. (BOE Num83 Tabla 513.5).

- En observaciones particulares y en estudios paralelos se puede observar una gran presencia de agua no drenada adecuadamente que se acumula a los costados de la estructura de la vía. La magnitud de agua es tal, que en operaciones posteriores, que igualmente se mencionan en el apartado 2.1.2, de tratamientos, superficiales con material bituminoso, el mismo fue desplazado por la gran presencia de líquido no drenado adecuadamente.
- Considerando que, como se menciona anteriormente, en este caso las operaciones en la vía se las realizaron sin considerar las regulaciones granulométricas del material previo a la adición de cemento, la Normativa Española considera un mejoramiento en Capa de Rodadura con material mayor al que pasa el tamiz #4 dando lugar a un material que se lo denomina “Gravacemento”. Las consideraciones y requerimientos de Plasticidad para la conformación de esta estructura según esta norma exige que el Límite Líquido sea menor a 25, y el Índice de Plasticidad sea

inferior a 6 (BOE Num83 513.2.2.3). Si observamos los resultados expresados en 4.3.5.1 se puede determinar que para el material del Km 59+000 si bien se cumple los parámetros, los mismos están al límite. Considerando la importancia de estos límites en función de la cantidad de finos y la cohesión del material, sumada la gran presencia de agua mencionada anteriormente, se puede concluir que estos dos factores combinados, impidieron una cohesión adecuada del elemento cementante al agregado de la vía en estudio.

5.2. Parámetros a ser considerados de la Normativa Española de vías

Como se menciona a lo largo de este estudio, la aplicabilidad del método utilizado para la realización de un tendido de material cementante sobre una superficie de rodadura, se la fundamentó en base a varias normas internacionales vigentes (Española y Panameña) y la normativa vigente en el Ecuador a través de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 también conocido como el libro amarillo del MTOP.

Sin embargo como se ha mencionado, tan solo la Normativa Española contempla la utilización del cemento para mejorar una superficie de rodadura o calzada en vías T42 (Tráfico pesado de hasta 100 vehículos diarios por sentido) con un doble riego de imprimación (bicapa) de protección. En este punto, se puede observar una diferencia marcada entre la normativa que regula el uso de cemento en bases

y sub-bases (Ecuatoriana y Panameña) y la Normativa Española que regula la superficie de rodadura, y es que, esta última, no solo presenta un requerimiento a la compresión mínimo sino que exige el cumplimiento de un rango mínimo y máximo de resistencia a la compresión simple.

Después de realizar un análisis de los motivos que servirían de fundamento para estas exigencias pudimos concluir que:

- Al estar la capa de rodadura directamente expuesta a las acciones del entorno natural como lluvia y viento, y, adicionalmente recibir directamente los esfuerzos del tráfico circulante, se deben exigir ciertas condiciones adicionales así como lo hace la Normativa Española para evitar un desgaste acelerado de la superficie de rodadura.
- El límite inferior del rango que exige una resistencia a la compresión simple de 25 Kg/cm^2 garantizará una estructura con la resistencia adecuada para cumplir satisfactoriamente los esfuerzos a los que será sometida por el tráfico. Por otro lado el límite máximo de 45 Kg/cm^2 garantizará que la estructura presentará un desempeño flexible al ser sometida a esfuerzos del tránsito, en caso de superar este límite, la estructura conformada se presentaría demasiado rígida, y estaría expuesta a potenciales fisuras, que, considerando su calidad de "calzada", con la presencia de precipitaciones, terminaría con una eventual destrucción de la superficie de rodadura.
- Considerando las limitaciones generales a nivel país en términos de mantenimiento de caminos vecinales y C3, y de la viabilidad técnica de la

realización de un mejoramiento de una base o sub-base granular utilizada como capa de rodadura, las normas nacionales deberían considerar la incorporación de normativa reguladora de aplicación de cemento como material de mejoramiento de base y sub-base utilizada como capa de rodadura y no solo limitarse a normar el uso de este material para base o sub base en la estructura del pavimento.

5.3. Sobre los resultados obtenidos con los ensayos

5.3.1. Vía Otavalo-Selva Alegre

En base a los resultados tabulados en 4.5.2.1 de las resistencias a la compresión simple de las muestras ensayadas con un 3%, 4% y 5% de cemento, se puede observar claramente que ninguna de ellas alcanza los 25Kg/cm^2 que exige la Norma Española tomada como base para este estudio. Sin embargo como se puede observar en el apartado 513.10.2 de la norma, se pueden aceptar en obra resistencias medias inferiores hasta del 90% de la resistencia mínima de 25Kg/cm^2, considerando pequeñas sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, por esta razón podría existir una flexibilidad hasta por 22.5Kg/cm^2 cumpliendo en este caso el 67% de las muestras ensayadas para esta vía.

Por otro lado en términos de plasticidad puede observarse una particularidad a considerar. Para la muestra del Km 29+000, el Límite Líquido obtenido excede el valor máximo del establecido en la Norma Española el cual debe ser de 30 (BOE

Num83 513.2.2.3). Esto se ve reflejado directamente en la resistencia obtenida para esta muestra que con un 5% de cemento no alcanza ni los 19 Kg/cm^2 y que con la muestra analizada al 4% existe un gran rango de diferencia. (8.64 Kg/cm^2). Considerando los resultados obtenidos y teniendo en cuenta el TPDA de 300 que posee la vía, en su mayoría tráfico pesado, en base a lo que se exige en la normativa española que considera la viabilidad de uso de calzadas estabilizadas con cemento en vías T42 (Tráfico pesado de hasta 100 vehículos diarios por sentido) no consideramos factible la aplicación de el método de estabilización con cemento, ya que:

- Los resultados de la resistencia a la compresión no se cumplen íntegramente.
- La vía tiene un tráfico pesado excesivo más allá de los parámetros considerados en la norma española.
- Considerando el costo definido en 4.5.2.3 en contraste con los $10,5 por m^2 que nos supo informar que paga el Gobierno Provincial de Imbabura por mantenimiento periódico, que incluye el remplazo completo de la superficie de rodadura con lastre, escarificación total, compactación y adhesión de material ligante, la aplicación del método propuesto podría ser factible en este caso y para esta vía, desde el plano económico.

5.3.2. Vía Cuicocha – Apuela – Aguagrúm

Tomando en cuenta los resultados presentados en la tabla 4.5.2.2 de las resistencias a la compresión simple de las muestras ensayadas con un 3%, 4% y

5% de cemento, pudimos determinar que una de ellas (con el 5%) alcanza los 25Kg/cm^2 que exige la Norma Española tomada como base para este estudio. La segunda muestra, considerando el apartado 513.10.2 de la norma, puede ser aceptada cumpliendo en este caso la totalidad de las muestras ensayadas para esta vía.

En términos de plasticidad, puede observarse un suelo no plástico mayoritariamente, razón por la cual el suelo mejorado sería propenso a agrietarse.

Considerando los resultados obtenidos y teniendo en cuenta el TPDA de 106 que posee la vía, en base a lo que se exige en la normativa española que considera la viabilidad de uso de calzadas estabilizadas con cemento en vías T42 (Tráfico pesado de hasta 100 vehículos diarios por sentido), no consideramos factible la aplicación del método de estabilización con cemento, ya que:

- Si bien se cumplen los resultados de la resistencia a la compresión, el suelo que se presenta, no posee la cantidad de finos necesarios para que se produzca una liga íntegra, entre suelo y cemento, tras la incorporación del mismo de una manera desatendida.
- La vía tiene un tráfico ligeramente superior al regulado por la Norma Española.
- De igual manera que con la vía anteriormente descrita, desde el plano económico si es factible la aplicación del método por los costos generados, independientemente de la potencial durabilidad que pudiera presentarse.

5.4. Comparación económica con otros métodos de mantenimiento periódico

Considerando las tres opciones de mantenimiento periódico que se plantean en el presente estudio, la solución propuesta añadiendo un 5% de cemento y un doble riego de imprimación a la sub- base actual (usada como capa de rodadura), desde el punto de vista económico con $5.10 por m^2 se constituye como una opción viable respecto a la adición de una capa de 15cm de base clase 2 a un costo de $3,75 por m^2 y respecto de las operaciones generales de mantenimiento periódico que realiza el GPI a un costo de $10,5 por m^2 que incluye remplazo completo de la superficie de rodadura con lastre, escarificación total, compactación y adhesión de material ligante.

Si se contrasta la utilización de cemento versus la disposición integra de una base clase 2, la viabilidad técnica del método con cemento en relación al costo por metro cuadrado se impondría, ya que por $1.35 adicionales el material con cemento recibe incluso un doble riego de emulsión asfáltica de imprimación.

Respecto al método utilizado por el Gobierno Provincial de Imbabura para el mantenimiento periódico de las vías, si se contrasta los $5,10 por m^2 en relación a los $10,5 por m^2 la solución es económicamente viable. Desde un plano técnico, es natural que por $10,5 por m^2 se realicen mayor cantidad de actividades, sin

embargo considerando que el proceso de adición de cemento respeta normativa técnica, el procedimiento con cemento podría ser aplicable.

En conclusión el adicionar un 5% de cemento al material de sub-base utilizado como capas de rodadura en vías C3 si puede constituirse como un método adecuado y a considerar de mantenimiento periódico, teniendo en cuenta que las resistencias a la compresión si se mejoran a pesar de no cumplir con los requisitos de plasticidad.

5.5. Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos, se sugiere la construcción de un tramo de prueba, mejorando la granulometría de la base y adicionándole el porcentaje de cemento óptimo que arrojen los ensayos de laboratorio. A este producto colocarle un doble riego de imprimación de protección y realizar respectivas obras de drenaje.

En base a este procedimiento determinar la durabilidad y efectividad en aplicación del método planteado.

BIBLIOGRAFÍA

- Orden Circular 10/2002 sobre secciones de firme y Capas Estructurales de Firmes. Anexo 1: Secciones de Firme (Norma 6.1-IC) Norma Española PG-3 Art. 551.

- Boletín Oficial del Estado BOE núm 83. Artículo 513. Martes 6 de Abril de 2004. España.

- Especificaciones Técnicas Generales. Ministerio de Obras Públicas de Panamá. 27 de abril de 2006. Benjamín Colamarco. Ministro de Obras Públicas.

- Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes. MOP-001-F 2002. República del Ecuador. Ministerio de Transporte de Obras Públicas del Ecuador.

- Normas Interinas. Corpecuador 1999. Consultora Andina COA. Cia. Ltda

- Nueva Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. INDEPRO & COA Consultores Asociados. 2012 (En revisión)

- Sanz, Juan José, Mecánica de Suelos, Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1975.

http://books.google.com.ec/books?id=oQFZRKlix_EC&pg=PA36&dq=limites+de+atterberg&hl=es&sa=X&ei=2cbOT5-0BISv6gG7zZ2HDA&ved=0CC8Q6AEwAA#v=onepage&q=limites%20de%20atterberg&f=false

- Crespo, Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, México, Limusa, 5ta edición, 2004 http://books.google.com.ec/books?id=Db2SQbBHVPQC&pg=PA87&dq=clasificaci%C3%B3n+de+suelos&hl=es&sa=X&ei=3SbAT9jLM4f68gStg_jPCw&ved=0CDsQ6AEwAQ#v=onepage&q=clasificaci%C3%B3n%20de%20suelos&f=false

- Crespo, Carlos, Mecánica de suelos y cimentaciones, México, Limusa, 5ta edición, 2004 http://books.google.com.ec/books?id=Db2SQbBHVPQC&pg=PA116&dq=cbr+suelos&hl=es&sa=X&ei=cn_iT7uHDpK89QThiuSGCA&ved=0CEMQ6AEwAw#v=onepage&q=cbr%20suelos&f=false

- CBR http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica7.htm
- La bibliografía se dispone alfabéticamente, según el apellido de los autores/as citados:

ANEXOS

ANEXO ENSAYO CUICOCHA – APUELA

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 21.3 - Mezcla suelo 2,3,4
NORMA : ASTM D - 2488

Nº DE RECEPCIÓN : S 1971
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : ———
CONTRATISTA : ———
FECHA : 05/06/2012

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

Psap. + sh.	Psap. + ss.	Psap.	% Humedad	Promedio
76,68	74,81	17,09	2,92	2,85
91,59	91,59	18,53	2,78	

2.- LÍMITE PLÁSTICO

SUELO NO PLÁSTICO

3.- LÍMITE LÍQUIDO

SUELO NO PLÁSTICO

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PESO Suelo Húmedo (gr) : 132,07 PESO Suelo Seco (gr) : 128,41

TAMIZ Nº	1 1/2"	1"	3/8"	1/2"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,750	2,000	0,425	0,075
PESO RET. ACUM.	0,00	0,00	0,00	16,42	21,41	33,68	47,76	72,89	96,24
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	12,79	16,67	26,07	37,19	56,67	74,95
PORCENTAJE QUE PASA	100,00	100,00	100,00	87,21	83,33	73,93	62,81	43,33	25,05



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (%)
% Humedad : 3

LÍMITES DE ATTERBERG
Límite Líquido, LL : NP
Límite Plástico, LP : NP
Índice de Plasticidad, IP : NP

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
% Grava : 26
% Arena : 49
% Finos : 25

CLASIFICACIÓN SUCS : SM NOMBRE TÍPICO : Arena limosa con grava

Roberto Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Gustavo Bonifaz
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito – Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS

OBRA : Mejoramiento de la vía Cotocha, Ayora, Agoyan — Nº DE RECEPCIÓN : S 1975

LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura — SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo

MUESTRA : Tomada por el cliente — FISCALIZACIÓN : ———

DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 19,0 - Mezcla suelos 2,3,4 — CONTRATISTA : ———

NORMA : ASTM D - 2488 — FECHA : 05/06/2012

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	Pcap.	% Humedad	Promedio
74,79	72,47	15,55	3,71	3,56
84,65	82,47	18,66	3,41	

2.- LÍMITE PLÁSTICO

SUELO NO PLÁSTICO

3.- LÍMITE LÍQUIDO

SUELO NO PLÁSTICO

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PESO Suelo Húmedo (gr): 339,00 — PESO Suelo Seco (gr): 334,03

TAMIZ Nº	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	200
DIAMETRO (mm)	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,750	2,000	0,425	0,075
PESO RET. ACUM.	0,00	0,00	0,00	0,00	3,94	35,24	58,27	68,93	75,90
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	2,94	15,10	23,09	25,01	16,63
PORCENTAJE QUE PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	97,06	84,90	76,91	64,99	43,37



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (%)

% Humedad : 4

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido, LL : NP

Límite Plástico, LP : NP

Índice de Plasticidad, IP : NP

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

% Grava : 15

% Arena : 42

% Finos : 43

CLASIFICACIÓN SUCS : SM — NOMBRE TÍPICO : Arena limosa con grava

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Gabriel Taipe
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS

OBRA : Mejoramiento de la vía Cotocha, Apuela, Aguagrsa
LOCALIZACIÓN : Provincia de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Absc 1 Km 24
NORMA : ASTM D - 2488

Nº DE RECEPCIÓN : 5.1974
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : .....
CONTRATISTA : .....
FECHA : 06/06/2017

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

Prop. + sh.	Prop. + ss.	Prop.	% Humedad	Promedio
185,42	183,05	18,40	1,84	1,91
84,10	81,65	17,80	1,99	

2.- LÍMITE PLÁSTICO

SUELO NO PLÁSTICO

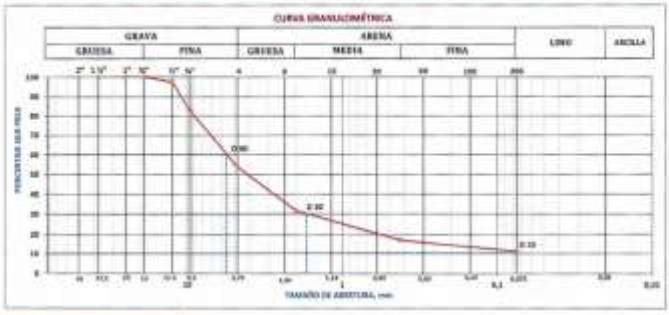
3.- LÍMITE LÍQUIDO

SUELO NO PLÁSTICO

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PESO Suelo Húmedo (gr): 173,74 PESO Suelo Seco (gr): 170,48

TAMIZ Nº	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,750	2,000	0,425	0,075
PESO RET. ACUM.	0,00	0,00	0,00	4,74	10,91	75,20	116,59	141,58	152,13
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	2,78	18,13	44,46	68,39	83,05	89,25
PORCENTAJE QUE PASA	100,00	100,00	100,00	97,22	81,87	55,54	31,61	16,95	10,75



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (%)
% Humedad : 2

LÍMITES DE ATTERBERG
Límite Líquido, LL : NP
Límite Plástico, LP : NP
Índice de Plasticidad, IP : NP

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
% Grava : 46 D 60 : 5,60
% Arena : 43 D 30 : 1,70
% Finos : 11 D 10 : 0,08
Coeficiente de Uniformidad, Cu : 74,67
Coeficiente de Curvatura, Cc : 5,88

CLASIFICACIÓN SUCS : SP NOMBRE TÍPICO : Arena mal graduada

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Ajpungras
LOCALIZACIÓN : Provincia de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muy 2 Est.11
NORMA : ASTM D - 2488

Nº DE RECEPCIÓN : 5.1974
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : ---------
CONTRATISTA : ---------
FECHA : 06/06/2012

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	Pcap.	% Humedad	Promedio
75,95	72,14	18,13	5,57	5,54
61,39	58,97	13,64	5,51	

2.- LÍMITE PLÁSTICO

Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	Pcap.	% Humedad	Promedio
13,14	12,17	7,29	19,88	19,87
13,86	13,04	8,91	19,85	

3.- LÍMITE LÍQUIDO

Nº DE GOLPES	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	Pcap.	% Humedad
13	33,27	28,42	8,72	24,37
21	32,15	27,74	9,16	23,09
38	34,00	29,42	8,55	22,76

CARTA DE PLASTICIDAD



4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PESO Suelo Húmedo (gr): 154,40 PESO Suelo Seco (gr): 150,92

TAMIZ Nº	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,750	2,000	0,425	0,075
PESO RET. ACUM.	0,00	0,00	0,00	0,00	7,26	28,00	27,62	35,42	35,01
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	7,26	28,30	27,92	35,81	35,45
PORCENTAJE QUE PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	92,66	79,70	72,08	64,19	64,55

CURVA GRANULOMÉTRICA



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (%)
% Humedad : 6

LÍMITES DE ATTERBERG
Límite Líquido, LL : 23
Límite Plástico, LP : 20
Índice de Plasticidad, IP : 4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
% Grava : 20
% Arena : 35
% Finos : 45

CLASIFICACIÓN SUCS : SM NOMBRE TÍPICO : Arena limosa con grava

RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

OBRA : Mejoramiento de la vía Calacocha, Apuela, Aguagrum **N° DE RECEPCIÓN :** S 1975

LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura **SOLICITADO POR :** Ing. Patricio Jaramillo

MUESTRA : Tomada por el cliente **FISCALIZACIÓN :** ----------

DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 34,0 - Mezcla sacos 2,3,4 **CONTRATISTA :** ----------

NORMA : ASTM D - 1557 **FECHA :** 05/06/2012

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN-m/m³)

MÉTODO : C

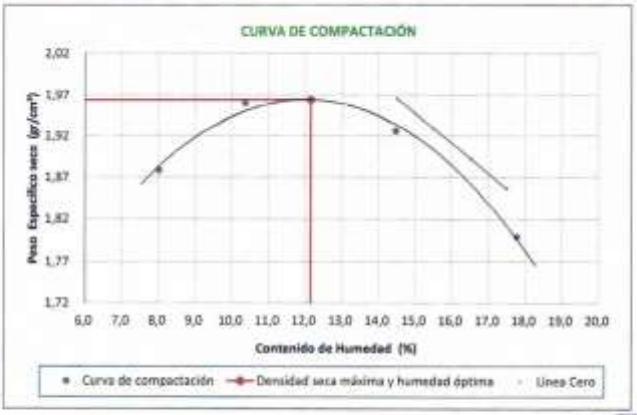
N° DE CAPAS : 5 **N° DE GOLPES POR CAPA :** 56

PESO MARTILLO : 10 lb. **ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO :** 457,2 mm.

VOL. DE MOLDE : 2124 cm³ **PESO DEL MOLDE :** 6429 gr.

N° DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10.738		11.023		11.111		10.930	
Peso molde (gr.)	6.429		6.429		6.429		6.429	
Peso suelo húmedo (gr.)	4.309		4.594		4.682		4.501	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2,029		2,163		2,204		2,119	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	83,33	79,15	78,94	75,56	72,04	67,07	72,35	79,56
Peso cap. + suelo seco (gr.)	78,24	74,92	72,96	70,47	65,39	59,88	64,43	70,23
Peso cápsula (gr.)	18,76	18,32	18,23	18,49	18,23	11,44	18,99	18,74
Contenido de Humedad (%)	8,56	7,47	10,93	9,79	14,10	14,84	17,43	18,12
Humedad promedio (%)	8,02		10,36		14,47		17,77	
Densidad seca (gr/cm³)	1,878		1,960		1,926		1,799	

Densidad seca máxima = **1,964** gr/cm³ % Humedad Óptima = **12,15**



Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

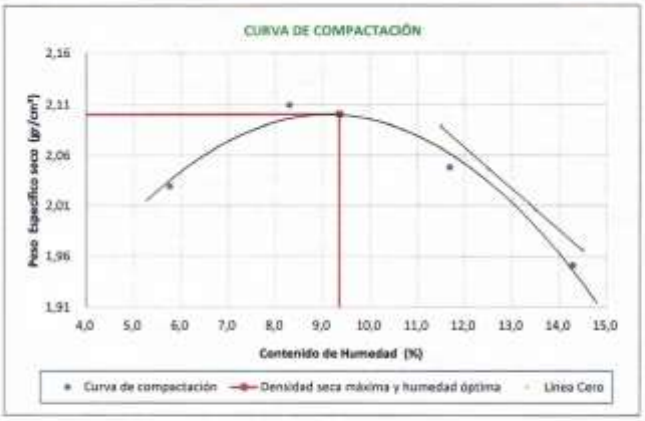
OBRA : Mejoramiento de la vía Caicocha, Apuela, Aguagrum **N° DE RECEPCIÓN :** S 1975
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura **SOLICITADO POR :** Ing. Patricio Jaramillo
MUESTRA : Tomada por el cliente **FISCALIZACIÓN :** ----------
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 21,5 - Mezcla sacos 2,3,4 **CONTRATISTA :** ----------
NORMA : ASTM D - 1557 **FECHA :** 05/06/2012

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN-m/m³)

MÉTODO : C
N° DE CAPAS : 5 **N° DE GOLPES POR CAPA :** 56
PESO MARTILLO : 10 lb. **ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO :** 457,2 mm.
VOL. DE MOLDE : 2124 cm³ **PESO DEL MOLDE :** 6440 gr.

N° DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10.999		11.292		11.299		11.176	
Peso molde (gr.)	6.440		6.440		6.440		6.440	
Peso suelo húmedo (gr.)	4.559		4.852		4.859		4.736	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2,146		2,284		2,288		2,230	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	87,63	89,40	81,43	71,86	70,96	86,55	70,71	80,86
Peso cap. + suelo seco (gr.)	83,78	85,62	76,39	67,69	65,00	79,18	64,19	72,16
Peso cápsula (gr.)	18,37	18,52	16,99	16,24	11,49	18,95	18,33	11,60
Contenido de Humedad (%)	5,89	5,63	8,48	8,10	11,14	12,24	14,22	14,37
Humedad promedio (%)	5,76		8,29		11,69		14,29	
Densidad seca (gr/cm³)	2,030		2,109		2,048		1,951	

Densidad seca máxima = **2,100** gr/cm³ % Humedad Óptima = **9,35**



Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Rivera M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum — **Nº DE RECEPCIÓN** : S 1975
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura — **SOLICITADO POR** : Ing. Patricio Jaramillo
MUESTRA : Tomada por el cliente — **FISCALIZACIÓN** : ----------
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 34,0 - Mezcla sacos 2,3,4 — **CONTRATISTA** : ----------
NORMA : ASTM D - 1557 — **FECHA** : 05/06/2012

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	1,964	gr/cm³	HUMEDAD ÓPTIMA:	12,15	%

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5

PESO MARTILLO : 10 lb. — ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO : 457,2 mm.

MOLDES Nº	Z7	Z8	Z9
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	10
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11.298	11.126	10.892
Peso molde (gr.)	6.652	6.644	6.641
Peso suelo húmedo (gr.)	4.646	4.482	4.251
Volumen del molde (cm³)	2.124	2.124	2.124
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.187	2.110	2.001

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	85,92	85,62	86,74	81,62	78,44	86,17
Peso cap. + suelo seco (gr.)	79,26	78,44	80,40	74,97	71,95	79,86
Peso cápsula (gr.)	18,34	17,89	18,66	18,30	18,30	18,04
Contenido de Humedad (%)	10,93	11,86	10,27	11,73	12,10	10,21
Humedad promedio (%)	11,40		11,00		11,15	
Densidad seca (gr/cm³)	1.964		1.901		1.801	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	73,71	82,35	71,91	76,08	83,30	60,67
Peso cap. + suelo seco (gr.)	68,03	74,56	65,87	69,25	75,01	54,26
Peso cápsula (gr.)	18,52	18,97	18,22	18,95	20,89	11,41
Contenido de Humedad (%)	11,47	14,01	12,68	13,58	15,32	14,96
Humedad promedio (%)	12,74		13,13		15,14	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11.337	11.260	11.079
Agua absorbida (gr.)	39	134	187
Agua absorbida (%)	0,84	2,99	4,49

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diego Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum
Nº DE RECEPCIÓN : S 1975
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
MUESTRA : Tomada por el cliente
FISCALIZACIÓN : ----------
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 34,0 - Mezcla sacos 2,3,4
CONTRATISTA : ----------
NORMA : ASTM D - 1557
FECHA : 05/06/2012

ESPONJAMIENTO

MOLDES Nº	Z7		Z8		Z9	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0,00	0	0,00	0	0,00
1	5	0,11	10	0,21	5	0,11
2	5	0,11	10	0,21	5	0,11
3	5	0,11	10	0,21	5	0,11
4	5	0,11	10	0,21	5	0,11

PENETRACIÓN

MOLDES Nº	Z7		Z8		Z9	
	56 Golpes		25 Golpes		10 Golpes	
penetración (pulgadas)	dial	presión lb/pig²	dial	presión lb/pig²	dial	presión lb/pig²
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	30	100,20	25	83,50	14	46,76
0,050	61	203,74	49	163,66	26	86,84
0,075	92	307,28	70	233,80	36	120,24
0,100	124	414,16	92	307,28	45	150,30
0,200	249	831,66	162	541,08	73	243,82
0,300	349	1.165,66	218	728,12	92	307,28
0,400	438	1.462,92	268	895,12	111	370,74
0,500	500	1.670,00	293	978,62	130	434,20

VALORES CBR

presión lb/pig²	valor CBR 0.1"	presión lb/pig²	valor CBR 0.2"
414,16	41,42	831,66	55,44
307,28	30,73	541,08	36,07
150,30	15,03	243,82	16,25
CBR (95% gd max.) =	25,50	CBR (95% gd max.) =	28,50

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Gallardo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

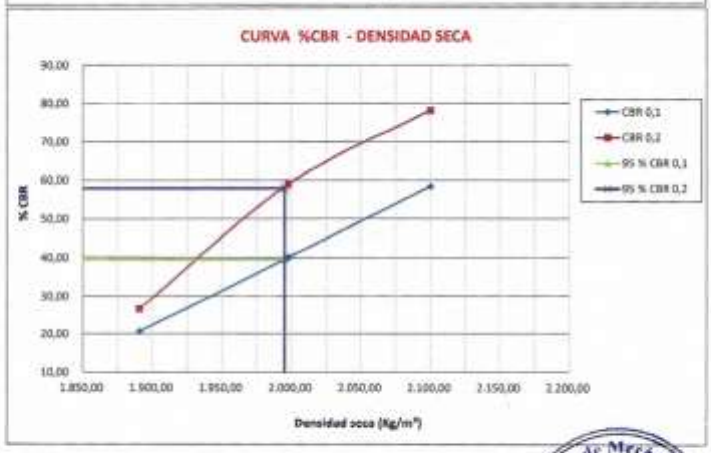
Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

OBRA	: Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum	**Nº DE RECEPCIÓN**	: S 1975
LOCALIZACIÓN	: Prov. de Imbabura	**SOLICITADO POR**	: Ing. Patricio Jaramillo
MUESTRA	: Tomada por el cliente	**FISCALIZACIÓN**	: ———
DESCRIPCIÓN	: Muestra 1 - Km 21,5 - Mezcla sacos 2,3,4	**CONTRATISTA**	: ———
NORMA	: ASTM D - 1557	**FECHA**	: 05/06/2012





Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Rosas M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

OBRA	: Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum	**Nº DE RECEPCIÓN** :	S 1975
LOCALIZACIÓN	: Prov. de Imbabura	**SOLICITADO POR** :	Ing. Patricio Jaramillo
MUESTRA	: Tomada por el cliente	**FISCALIZACIÓN** :	----------
DESCRIPCIÓN	: Muestra 1 - Km 34,0 - Mezcla sacos 2,3,4	**CONTRATISTA** :	----------
NORMA	: ASTM D - 1557	**FECHA** :	05/06/2012





Andrea Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum
Nº DE RECEPCIÓN : S 1975
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
MUESTRA : Tomada por el cliente
FISCALIZACIÓN : .....
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 21,5 - Mezcla sacos 2,3,4
CONTRATISTA : .....
NORMA : ASTM D - 1557
FECHA : 05/06/2012

ESPONJAMIENTO

MOLDES Nº	Z4		Z5		Z6	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0,00	0	0,00	0	0,00
1	0	0,00	0	0,00	0	0,00
2	0	0,00	0	0,00	0	0,00
3	0	0,00	0	0,00	0	0,00
4	0	0,00	0	0,00	0	0,00

PENETRACIÓN

MOLDES Nº	Z4		Z5		Z6	
	56 Golpes		25 Golpes		10 Golpes	
penetración (pulgadas)	dial	presión lb/plg²	dial	presión lb/plg²	dial	presión lb/plg²
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	45	150,30	27	90,18	18	60,12
0,050	92	307,28	55	183,70	34	113,56
0,075	130	434,20	84	280,56	49	163,66
0,100	175	584,50	120	400,80	62	207,08
0,200	351	1.172,34	265	885,10	120	400,80
0,300	502	1.676,68	398	1.329,32	160	534,40
0,400	635	2.120,90	511	1.706,74	210	701,40
0,500	784	2.618,56	600	2.004,00	260	868,40

VALORES CBR

presión lb/plg²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg²	valor CBR 0.2"
584,50	58,45	1.172,34	78,16
400,80	40,08	885,10	59,01
207,08	20,71	400,80	26,72
CBR (95% gd max.) =	39,50	CBR (95% gd max.) =	58,08

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Dubal Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Gilberto Realpe M.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 21,5 - Mezcla sacos 2,3,4
NORMA : ASTM D - 1557

Nº DE RECEPCIÓN : S 1975
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : ----------
CONTRATISTA : ----------
FECHA : 05/06/2012

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	2,100	gr/cm³	HUMEDAD ÓPTIMA:	9,35	%

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5

PESO MARTILLO : 10 lb. ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO : 457,2 mm.

MOLDES Nº	Z4	Z5	Z6
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	10
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11.582	11.305	11.033
Peso molde (gr.)	6.704	6.675	6.653
Peso suelo húmedo (gr.)	4.878	4.630	4.380
Volumen del molde (cm³)	2.124	2.124	2.124
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.297	2.180	2.062

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	60,58	89,81	71,54	72,42	78,02	76,17
Peso cap. + suelo seco (gr.)	56,49	83,59	67,04	67,97	72,92	71,52
Peso cápsula (gr.)	11,45	18,99	18,36	18,49	18,75	18,22
Contenido de Humedad (%)	9,08	9,63	9,24	8,99	9,41	8,72
Humedad promedio (%)	9,35		9,12		9,07	
Densidad seca (gr/cm³)	2.100		1.998		1.891	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	74,43	78,53	87,80	86,99	86,24	94,84
Peso cap. + suelo seco (gr.)	68,45	72,62	81,08	80,45	79,47	87,03
Peso cápsula (gr.)	11,79	15,16	18,90	18,76	18,53	17,69
Contenido de Humedad (%)	10,55	10,29	10,81	10,60	11,11	11,26
Humedad promedio (%)	10,42		10,70		11,19	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11.625	11.363	11.118
Agua absorbida (gr.)	43	58	85
Agua absorbida (%)	0,88	1,25	1,92

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Gabriela Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÈCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento de la vía Caicocha, Aguela, Aguagrum
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 21,5 - Mezcla cemento 3 %
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : S 1975
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : ----------
CONTRATISTA : ----------
FECHA : 05/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{superior}$:	101,44	mm	$A_{superior}$:	80,82	cm²	$P_{muestra}$:	3720	gr
D_{medio} :	101,24	mm	A_{medio} :	80,80	cm²	$V_{muestra}$:	1651,16	cm³
$D_{inferior}$:	100,66	mm	$A_{corregida}$:	79,58	cm²	$\gamma_{húmedo}$:	2,255	gr/cm³
$H_{inicial}$:	205,37	mm	$A_{inicial}$:	80,40	cm²	γ_{seco} :	2,069	gr/cm³

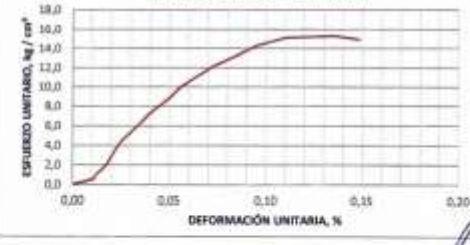
LECTURA DEL DEFORMÍMETRO (1 10⁻³ pulg)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm²)
0	0	0	80,40	0	0,000
1	0,0003	0,001	80,40	10	0,124
6	0,0015	0,007	80,41	30	0,373
9	0,0023	0,011	80,41	50	0,622
10	0,0025	0,012	80,41	90	1,119
12	0,0030	0,015	80,41	120	1,492
14	0,0036	0,017	80,41	160	1,990
20	0,0051	0,025	80,42	350	4,352
26	0,0066	0,032	80,43	460	5,720
32	0,0081	0,040	80,43	580	7,211
41	0,0104	0,051	80,44	720	8,951
45	0,0114	0,056	80,44	800	9,945
51	0,0130	0,063	80,45	880	10,938
59	0,0150	0,073	80,46	980	12,180
70	0,0178	0,087	80,47	1080	13,421
77	0,0196	0,095	80,48	1150	14,290
89	0,0226	0,110	80,49	1220	15,158
108	0,0274	0,134	80,51	1234	15,328
110	0,0279	0,136	80,51	1234,2	15,330
120	0,0305	0,148	80,52	1205,8	14,975

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Psup. + sh.	79,05	gr
Psup. + ss.	79,39	gr
P cápsula	18,00	gr
% Humedad	8,09	%

ESQUEMA DE FALLA



GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



qu (Kg/cm²)
15,33

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diego Sánchez
RESPONSABLE DE ÁREA

Dr. Guillermo Realpe M.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito – Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento de la vía Caicocha, Aguela, Aguagrun
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 21,5 - Mezcla cemento 4 %
NORMA : ASTM D 2166 - 66

N° DE RECEPCIÓN : S 1975
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : ----------
CONTRATISTA : ----------
FECHA : 05/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{superior}$:	100,52	mm	$A_{superior}$:	79,36	cm²	$P_{muestra}$:	3710	gr
D_{medio} :	100,61	mm	A_{medio} :	79,50	cm²	$V_{muestra}$:	1623,42	cm³
$D_{inferior}$:	100,48	mm	$A_{corregida}$:	79,30	cm²	$\gamma_{muestra}$:	2,285	gr/cm³
H_{medio} :	204,55	mm	A_{extra} :	79,44	cm²	γ_{seca} :	2,098	gr/cm³

LECTURA DEL DEFORMÍMETRO (0.01 "/pulg)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm²)
0	0	0	79,44	0	0,000
5	0,0013	0,006	79,45	20	0,252
15	0,0038	0,019	79,46	40	0,503
20	0,0051	0,025	79,46	60	0,755
22	0,0056	0,027	79,46	80	1,007
24	0,0061	0,030	79,47	100	1,258
27	0,0069	0,034	79,47	140	1,762
30	0,0076	0,037	79,47	180	2,265
32	0,0081	0,040	79,47	240	3,020
34	0,0086	0,042	79,48	280	3,523
37	0,0094	0,046	79,48	340	4,278
43	0,0109	0,053	79,49	440	5,536
48	0,0122	0,060	79,49	520	6,542
53	0,0135	0,066	79,50	600	7,548
59	0,0150	0,073	79,50	680	8,553
68	0,0173	0,085	79,51	840	10,565
72	0,0183	0,089	79,51	920	11,570
82	0,0208	0,102	79,52	1120	14,084
91	0,0231	0,113	79,53	1280	16,094
98	0,0249	0,122	79,54	1400	17,601
106	0,0269	0,132	79,55	1520	19,108
115	0,0292	0,143	79,56	1650	20,740
124	0,0315	0,154	79,57	1700	21,366
128	0,0325	0,159	79,57	1706	21,440
133	0,034	0,165	79,57	1729,6	21,736
138	0,035	0,172	79,58	1635	20,545

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Peso. + sh.	62,67	gr
Peso. + ss.	58,87	gr
P cápsula	16,24	gr
% Humedad	8,91	%

ESQUEMA DE FALLA



GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



qu (Kg/cm²)
21,74

Andres Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Gustavo Riofrío M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 21,5 - Mezcla cemento 5 %
NORMA : ASTM D 2166 - 66

N° DE RECEPCIÓN : S 1975
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : ----------
CONTRATISTA : ----------
FECHA : 05/06/2012

DATOS INICIALES

D_{arriba} :	101,39	mm	A_{arriba} :	81,06	cm²	$P_{muestra}$:	3760	gr
D_{med} :	101,14	mm	$A_{inicial}$:	80,34	cm²	$V_{muestra}$:	1642,58	cm³
D_{abajo} :	100,87	mm	$A_{corregida}$:	79,91	cm²	$\gamma_{húmedo}$:	2,289	gr/cm³
$H_{inicial}$:	204,33	mm	A_{media} :	80,39	cm²	γ_{seco} :	2,152	gr/cm³

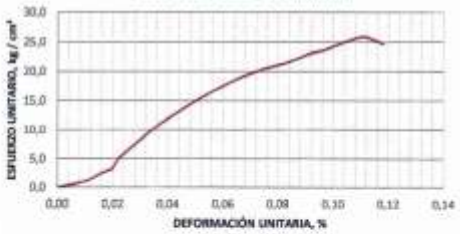
LECTURA DEL DEFORMIMETRO (x 10⁻³ pulg)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm²)
0	0	0	80,39	0	0,000
2	0,0005	0,002	80,39	20	0,249
4,5	0,0011	0,006	80,39	40	0,498
9	0,0023	0,011	80,40	100	1,244
12	0,0030	0,015	80,40	180	2,239
14	0,0036	0,017	80,40	220	2,736
16	0,0041	0,020	80,40	260	3,234
18	0,0046	0,022	80,41	420	5,223
21	0,0053	0,026	80,41	540	6,716
26	0,0066	0,032	80,41	740	9,202
30	0,0076	0,037	80,42	900	11,191
35	0,0089	0,044	80,42	1050	13,056
40	0,0102	0,050	80,43	1200	14,920
45	0,0114	0,056	80,43	1330	16,535
53	0,0135	0,066	80,44	1520	18,896
60	0,0152	0,075	80,45	1640	20,386
67	0,0170	0,083	80,46	1730	21,502
74	0,0188	0,092	80,46	1860	23,116
78	0,0198	0,097	80,47	1900	23,612
84	0,0213	0,104	80,47	2020	25,102
88	0,0224	0,109	80,48	2080	25,846
89	0,0226	0,111	80,48	2086	25,920
90	0,0229	0,112	80,48	2086,0	25,930
95	0,0241	0,118	80,48	1984	24,661

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Peso + sh.	85,36	gr
Peso + ss.	76,73	gr
P cápsula	13,34	gr
% Humedad	7,38	%

ESQUEMA DE FALLA



GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



qu (kg/cm²)
25,93

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE AREA

Ing. Guillermo Rosales M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 34,0 - Mezcla con cemento 3%
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : S 1975
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : ----------
CONTRATISTA : ----------
FECHA : 05/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{corregida}$:	101,37 mm	$A_{corregida}$:	80,71 cm²	$P_{muestra}$:	3590 gr
$D_{inicial}$:	101,49 mm	$A_{inicial}$:	80,90 cm²	$V_{muestra}$:	1654,32 cm³
$D_{corregida}$:	100,03 mm	$A_{corregida}$:	78,59 cm²	$\gamma_{húmedo}$:	2,170 gr/cm³
$H_{inicial}$:	205,58 mm	A_{seca} :	80,48 cm²	γ_{seco} :	1,909 gr/cm³

LECTURA DEL DEFORMÍMETRO (x cm * mm)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg / cm²)
0	0	0	80,48	0	0,000
2	0,0005	0,002	80,48	20	0,249
5	0,0013	0,006	80,49	40	0,497
8	0,0020	0,010	80,49	60	0,745
11	0,0028	0,014	80,49	80	0,994
13	0,0033	0,016	80,49	100	1,242
17	0,0043	0,021	80,50	130	1,615
19	0,0048	0,023	80,50	160	1,988
21	0,0053	0,026	80,50	190	2,360
23	0,0058	0,028	80,50	220	2,733
25	0,0064	0,031	80,51	250	3,105
27	0,0069	0,033	80,51	280	3,478
29	0,0074	0,036	80,51	300	3,726
32	0,0081	0,040	80,51	340	4,223
34	0,0086	0,042	80,51	380	4,720
36	0,0091	0,044	80,52	420	5,216
40	0,0102	0,049	80,52	460	5,713
42	0,0107	0,052	80,52	500	6,209
46	0,0117	0,057	80,53	540	6,706
48	0,0122	0,059	80,53	580	7,202
53	0,0135	0,065	80,53	620	7,699
57	0,0145	0,070	80,54	660	8,195
64	0,0163	0,079	80,54	700	8,691
70	0,0178	0,086	80,55	707,92	8,789

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Pcap. + sh.	85,62	gr
Pcap. + ss.	77,48	gr
P cápsula	17,91	gr
% Humedad	13,66	%

ESQUEMA DE FALLA



GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



qu (Kg/cm²)
8,79

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diego Sánchez
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Valeriano Reslpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Aguela, Aguagrum
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 34,0 - Mezcla con cemento 4%
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : S 1975
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : ----------
CONTRATISTA : ----------
FECHA : 05/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{superior}$:	101,2 mm	$A_{superior}$:	80,44 cm²	$P_{muestra}$:	3590 gr
D_{medio} :	100,74 mm	A_{medio} :	79,71 cm²	$V_{muestra}$:	1658,87 cm³
$D_{promedio}$:	101,49 mm	$A_{promedio}$:	80,90 cm²	γ_{humedo} :	2,191 gr/cm³
$H_{inicial}$:	204,79 mm	$A_{corr.}$:	80,05 cm²	γ_{seco} :	1,922 gr/cm³

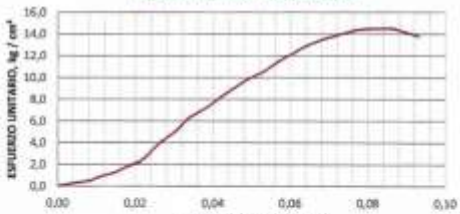
LECTURA DEL DEFORMIMETRO (x 10⁻³ pulg)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm²)
0	0	0	80,03	0	0,000
3	0,0008	0,004	80,03	20	0,250
7	0,0018	0,009	80,03	40	0,500
8	0,0020	0,010	80,03	60	0,750
10	0,0025	0,012	80,04	80	1,000
12	0,0030	0,015	80,04	100	1,249
14	0,0036	0,017	80,04	140	1,749
17	0,0043	0,021	80,04	180	2,249
18,5	0,0047	0,023	80,05	220	2,748
20	0,0051	0,025	80,05	280	3,498
22	0,0056	0,027	80,05	340	4,247
25	0,0064	0,031	80,05	420	5,247
27	0,0069	0,033	80,05	500	6,246
31	0,0079	0,038	80,06	580	7,245
34	0,0086	0,042	80,06	660	8,244
39	0,0099	0,048	80,07	780	9,742
43	0,0109	0,053	80,07	850	10,616
46	0,0117	0,057	80,07	920	11,490
49	0,0124	0,061	80,08	980	12,238
51	0,0130	0,063	80,08	1020	12,738
55	0,0140	0,068	80,08	1080	13,486
62	0,0157	0,077	80,09	1150	14,359
65	0,0165	0,081	80,09	1160	14,483
69	0,0175	0,086	80,10	1161	14,495
70	0,018	0,087	80,10	1158	14,458
75	0,019	0,093	80,10	1105	13,795

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Peap. + sh.	86,51	gr
Peap. + ss.	78,11	gr
P cápsula	17,99	gr
% Humedad	13,97	%

ESQUEMA DE FALLA



GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



qu (Kg/cm²)
14,80

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE AREA

Ing. Gerardo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.. 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento de la vía Cuicocha, Apuela, Aguagrum
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 34,0 - Mezcla con cemento 5%
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : S 1975
SOLICITADO POR : Ing. Patricio Jaramillo
FISCALIZACIÓN : ----------
CONTRATISTA : ----------
FECHA : 05/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{promedio}$:	101,15	mm	$A_{corregida}$:	80,36	cm^2	$P_{muestra}$:	3530	gr
$D_{inicial}$:	100,58	mm	$A_{inicial}$:	79,45	cm^2	$V_{muestra}$:	1644,61	cm^3
$D_{promedio}$:	100,49	mm	$A_{promedio}$:	79,31	cm^2	γ_{humedo} :	2,146	gr/cm^3
$H_{inicial}$:	206,66	mm	$A_{corr.}$:	79,58	cm^2	γ_{seco} :	1,923	gr/cm^3

LECTURA DEL DEFORMÍMETRO (1 cm = 100 div)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm^2)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm^2)
0	0	0	79,58	0	0,000
2	0,0005	0,002	79,58	30	0,377
5	0,0013	0,006	79,59	60	0,754
7	0,0018	0,009	79,59	90	1,131
8	0,0020	0,010	79,59	120	1,508
10	0,0025	0,012	79,59	150	1,885
12	0,0030	0,015	79,59	180	2,262
13	0,0033	0,016	79,59	220	2,764
14,5	0,0037	0,018	79,59	280	3,518
15,5	0,0039	0,019	79,60	340	4,272
16	0,0041	0,020	79,60	420	5,277
17	0,0043	0,021	79,60	480	6,030
19,5	0,0050	0,024	79,60	600	7,538
26	0,0066	0,032	79,61	720	9,045
31	0,0079	0,038	79,61	840	10,551
36	0,0091	0,044	79,62	960	12,058
41	0,0104	0,050	79,62	1080	13,564
46	0,0117	0,057	79,63	1200	15,071
50	0,0127	0,061	79,63	1320	16,577
55	0,0140	0,068	79,63	1440	18,083
58,5	0,0149	0,072	79,64	1520	19,086
65	0,0165	0,080	79,64	1640	20,592
67	0,0170	0,082	79,65	1680	21,093
68,5	0,0174	0,084	79,65	1720	21,595
73,5	0,019	0,090	79,65	1807,8	22,696
80	0,020	0,098	79,66	1781	22,358

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Peap. + sh.	53,01	gr
Peap. + ss.	48,68	gr
P cápsula	11,33	gr
% Humedad	11,59	%

ESQUEMA DE FALLA

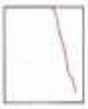
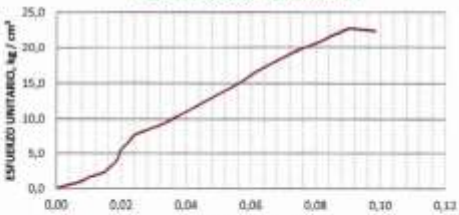


GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



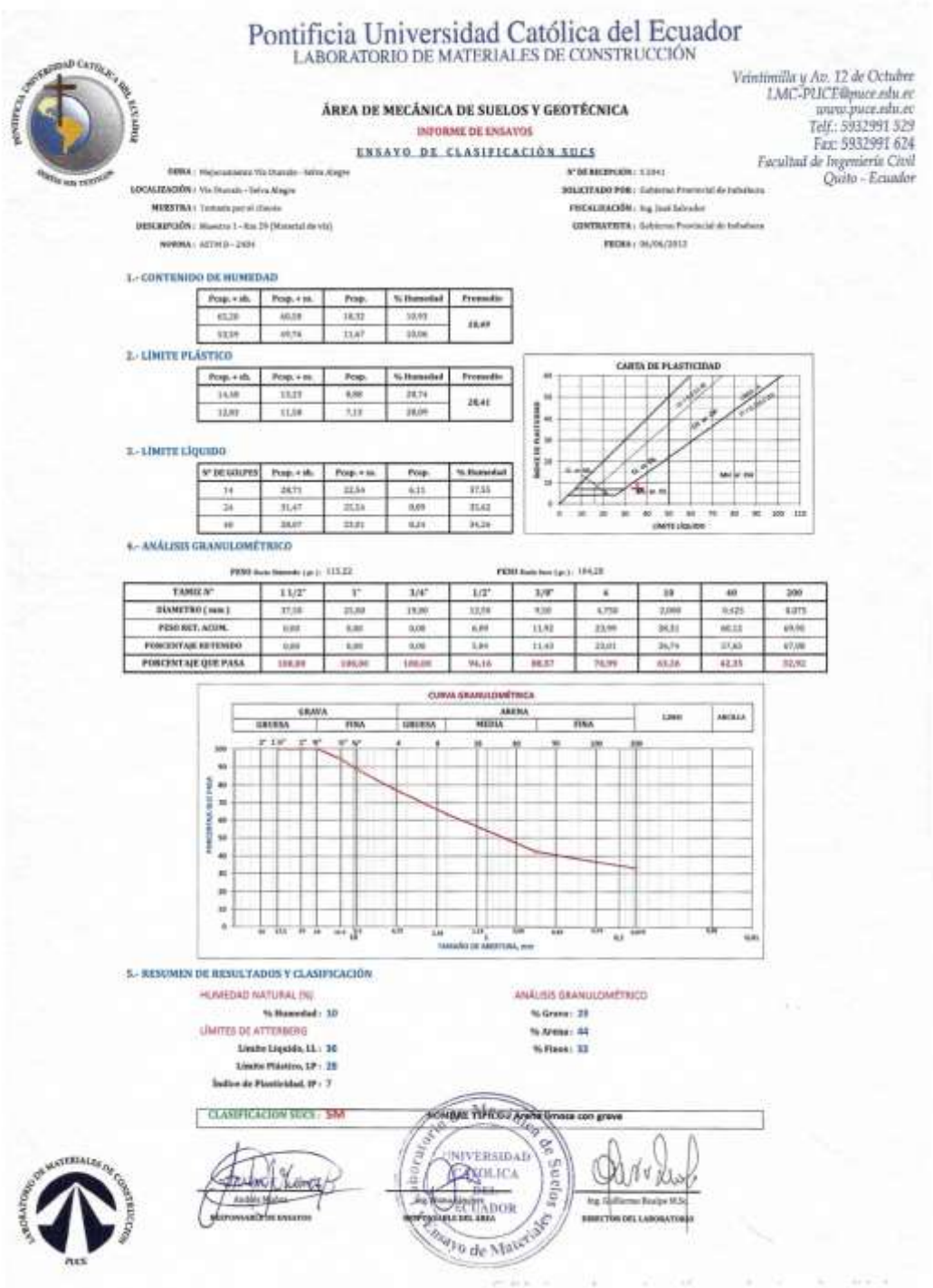
qu (kg/cm²)
22,70

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Blasa Sánchez
RESPONSABLE DE AREA

Ing. Gabriel Enrique Mena
DIRECTOR DEL LABORATORIO

ANEXO ENSAYO OTAVALO – SELVA ALEGRE



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo – Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo – Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el Cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 – Km 29 (Material de vía)
NORMA : ASTM D – 2487

Nº DE RECEPCIÓN : 13041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2013

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

Psup. + sh.	Psup. + ss.	Psup.	% Humedad	Promedio
65,20	60,18	18,32	10,93	10,69
53,59	49,74	13,67	10,06	

2.- LÍMITE PLÁSTICO

Psup. + sh.	Psup. + ss.	Psup.	% Humedad	Promedio
14,60	13,23	8,00	28,74	28,41
12,93	11,68	7,13	28,09	

CARTA DE PLASTICIDAD

3.- LÍMITE LÍQUIDO

Nº DE GOLPES	Psup. + sh.	Psup. + ss.	Psup.	% Humedad
14	28,71	22,54	6,15	37,55
24	31,47	25,16	8,69	35,62
40	28,07	23,01	8,24	34,24

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PESO Suelo Humedo (gr) : 113,22
PESO Suelo Seco (gr) : 104,28

TAMIZ Nº	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	200
DIAMETRO (mm)	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,750	2,000	0,425	0,075
PESO RET. ACUM.	0,00	0,00	0,00	6,89	11,92	23,99	36,51	60,53	69,90
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	3,84	11,43	23,01	35,79	57,83	67,08
PORCENTAJE QUE PASA	100,00	100,00	100,00	96,16	88,57	76,99	63,26	42,35	32,92

CURVA GRANULOMÉTRICA

GRAVA (GRUESA, FINA) | ARENA (GRUESA, MEDIA, FINA) | LIMO | ARCILLA

PORCENTAJE QUE PASA

TAMAÑO DE ABERTURA, mm

5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (%)
% Humedad : 10

LÍMITES DE ATTERBERG
Límite Líquido, LL : 30
Límite Plástico, LP : 23
Índice de Plasticidad, IP : 7

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
% Grava : 23
% Arena : 44
% Finos : 33

CLASIFICACIÓN SUCS : SM
NOMBRE TÍPICO : Arena limosa con grava

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito – Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo – Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 2 - Km 35 (Mina)
NORMA : ASTM D - 2488

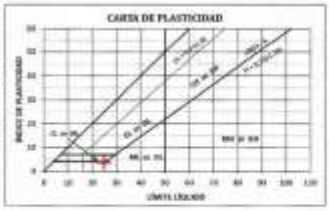
Nº DE RECEPCIÓN : 12011
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
EXCAVACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

Psap. + sh.	Psap. + ss.	Psap.	% Humedad	Promedio
96,62	93,41	18,54	4,23	4,19
76,27	73,07	15,16	4,99	

2.- LÍMITE PLÁSTICO

Psap. + sh.	Psap. + ss.	Psap.	% Humedad	Promedio
12,99	11,90	6,74	20,93	20,97
13,24	14,07	8,93	21,01	



3.- LÍMITE LÍQUIDO

Nº DE GOLPES	Psap. + sh.	Psap. + ss.	Psap.	% Humedad
16	36,64	30,93	8,37	25,31
27	23,20	28,23	7,29	24,63
40	38,13	28,11	9,20	23,89

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PESO Muestra Lav.): 113,29 PESO Muestra Lav.): 100,77

TAMIZ Nº	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,750	2,000	0,425	0,075
PESO RET. ACUM.	0,00	0,00	0,00	10,32	23,50	67,90	82,24	90,60	98,66
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	9,49	22,61	64,04	27,22	74,18	83,17
PORCENTAJE QUE PASA	100,00	100,00	100,00	90,51	78,39	35,96	42,78	25,82	16,83



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (N)
% Humedad : 4

LÍMITES DE ATTERBERG
Límite Líquido, LL : 25
Límite Plástico, LP : 21
Índice de Plasticidad, IP : 4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
% Grava : 44
% Arena : 39
% Finos : 17

CLASIFICACIÓN SUCS : SM NOMBRE TÍPICO : Arena limosa con grava

Investigador
Responsable de Ensayos

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito – Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 3 - Km 44 (Vía)
NORMA : ASTM D - 2487

Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. Iosif Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

Psap. + sh.	Psap. + ss.	Psap.	% Humedad	Promedio
75,85	73,22	17,79	3,59	3,03
94,70	92,70	19,00	2,71	

2.- LÍMITE PLÁSTICO

Psap. + sh.	Psap. + ss.	Psap.	% Humedad	Promedio
14,73	13,81	6,47	17,33	17,27
16,86	15,80	6,88	17,22	

3.- LÍMITE LÍQUIDO

Nº DE GOLPES	Psap. + sh.	Psap. + ss.	Psap.	% Humedad
11	33,13	28,20	6,34	22,57
24	32,31	28,35	6,84	20,48
33	31,79	27,62	6,57	19,85



4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PESO Suelo Húmedo (gr.) : 120,65 PESO Suelo Seco (gr.) : 116,92

TAMIZ Nº	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,760	2,000	0,420	0,075
PESO RET. ACUM.	0,00	0,00	0,00	2,62	6,54	20,97	37,61	68,48	82,36
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	2,24	5,59	17,93	32,20	53,72	70,43
PORCENTAJE QUE PASA	100,00	100,00	100,00	97,76	94,41	82,07	67,80	46,28	29,57



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (%)
% Humedad : 3

LÍMITES DE ATTERBERG
Límite Líquido, LL : 20
Límite Plástico, LP : 17
Índice de Plasticidad, IP : 3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
% Grava : 18
% Arena : 52
% Finos : 30

CLASIFICACIÓN SUCS : SM NOMBRE TÍPICO : Arena limosa con grava

RESPONSABLE DE ENSAYOS

RESPONSABLE DEL ÁREA

DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYOS

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN SUCS

OBRA : Mejoramiento Vía Daniels – Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Daniels - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 4 - Km 19 (vía)
NORMA : ASTM D - 2487

Nº DE RECEPCIÓN : 1-2011
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD

Prep. + rh.	Prep. + ss.	Prep.	% Humedad	Promedio
85,82	83,69	18,66	3,80	3,82
88,16	85,99	19,17	3,97	

2.- LÍMITE PLÁSTICO

Prep. + rh.	Prep. + ss.	Prep.	% Humedad	Promedio
16,87	15,89	9,47	19,04	19,69
16,76	15,68	9,14	19,94	



3.- LÍMITE LÍQUIDO

Nº DE GOLPES	Prep. + rh.	Prep. + ss.	Prep.	% Humedad
11	33,90	28,57	8,53	36,08
23	33,49	28,87	8,84	23,71
33	33,63	28,51	6,60	23,45

4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PESO Suelo Húmedo (gr.) : 114,00 PESO Suelo Seco (gr.) : 109,80

TAMIZ Nº	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4	10	40	200
DIÁMETRO (mm)	37,50	25,00	19,00	12,50	9,53	4,750	2,000	0,425	0,075
PESO RET. ACUM.	0,00	0,00	0,00	7,31	15,50	33,43	52,34	71,99	90,62
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	6,67	14,20	30,45	47,67	65,56	73,42
PORCENTAJE QUE PASA	100,00	100,00	100,00	93,33	85,80	69,55	52,33	34,44	16,58



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HUMEDAD NATURAL (N)
% Humedad : 4

LÍMITES DE ATTERBERG
Límite Líquido, LL : 24
Límite Plástico, LP : 20
Índice de Plasticidad, IP : 5

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
% Grava : 30
% Arena : 43
% Finos : 27

CLASIFICACIÓN SUCS : SM-SC NOMBRE TÍPICO : Arena arcillo limosa con grava

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales
UNIVERSIDAD CATÓLICA

RESPONSABLE DE ENSAYOS

DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 3932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 29 (Material de vía)
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
NORMA : ASTM D - 1557
FECHA : 06/06/2012

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN-m/m³)

MÉTODO : C
Nº DE CAPAS : 5
Nº DE GOLPES POR CAPA : 56
PESO MARTILLO : 10 lb.
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO : 457,2 mm.
VOL. DE MOLDE : 2124 cm³
PESO DEL MOLDE : 6449 gr.

Nº DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11.033		11.236		11.167		10.967	
Peso molde (gr.)	6.449		6.449		6.449		6.449	
Peso suelo húmedo (gr.)	4.584		4.787		4.718		4.518	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2,158		2,254		2,221		2,127	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	80,33	77,21	78,61	83,19	71,32	70,14	95,14	73,08
Peso cap. + suelo seco (gr.)	74,38	71,25	71,06	75,41	63,18	62,72	83,16	63,19
Peso cápsula (gr.)	18,77	18,50	17,92	18,52	17,58	18,13	18,47	15,33
Contenido de Humedad (%)	10,70	11,30	14,21	13,68	17,83	16,64	18,52	20,66
Humedad promedio (%)	11,00		13,94		17,25		19,59	
Densidad seca (gr/cm³)	1,944		1,978		1,895		1,779	

Densidad seca máxima = **1,976** gr/cm³ % Humedad Óptima = **13,60**



Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

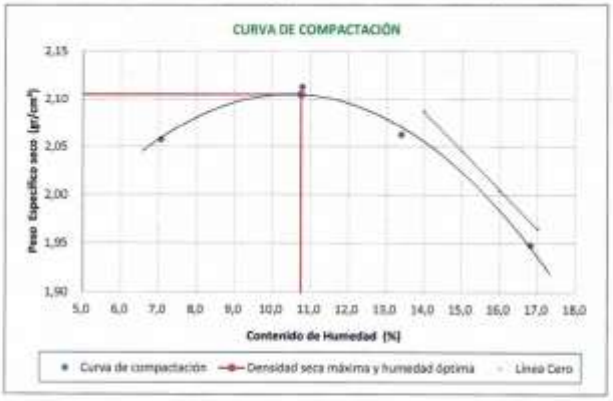
OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
Nº DE RECEPCIÓN : 5 2041
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
DESCRIPCIÓN : Muestra 2 - Km 35 (Mina)
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
NORMA : ASTM D - 1557
FECHA : 06/06/2012

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN-m/m³)

MÉTODO : C
Nº DE CAPAS : 5
Nº DE GOLPES POR CAPA : 56
PESO MARTILLO : 10 lb.
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO : 457,2 mm.
VOL. DE MOLDE : 2124 cm³
PESO DEL MOLDE : 6455 gr.

Nº DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11.133		11.426		11.423		11.288	
Peso molde (gr.)	6.455		6.455		6.455		6.455	
Peso suelo húmedo (gr.)	4.678		4.971		4.968		4.833	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2,202		2,340		2,339		2,275	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	74,01	91,17	69,64	70,08	58,75	75,83	92,24	90,12
Peso cap. + suelo seco (gr.)	69,04	86,40	63,96	64,78	53,04	69,18	81,64	79,76
Peso cápsula (gr.)	11,49	17,98	11,56	15,34	11,17	18,43	18,76	18,00
Contenido de Humedad (%)	7,15	6,97	10,84	10,72	13,70	13,10	16,86	16,77
Humedad promedio (%)	7,06		10,78		13,40		16,82	
Densidad seca (gr/cm³)	2,057		2,113		2,063		1,948	

Densidad seca máxima = **2,105** gr/cm³ % Humedad Óptima = **10,75**



Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Rodríguez
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

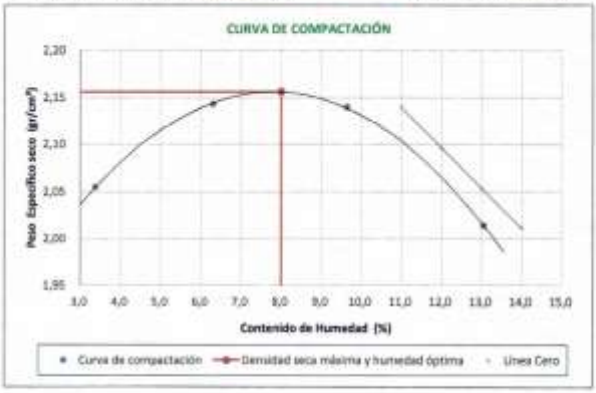
OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
DESCRIPCIÓN : Muestra 3 - Km 46 (vía)
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
NORMA : ASTM D - 1557
FECHA : 06/06/2012

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN-m/m³)

MÉTODO : C
Nº DE CAPAS : 5
Nº DE GOLPES POR CAPA : 56
PESO MARTILLO : 10 lb.
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO : 457,2 mm.
VOL. DE MOLDE : 2124 cm³
PESO DEL MOLDE : 6449 gr.

Nº DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	10.960		11.288		11.432		11.284	
Peso molde (gr.)	6.449		6.449		6.449		6.449	
Peso suelo húmedo (gr.)	4.511		4.839		4.983		4.835	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2,124		2,278		2,346		2,276	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	83,67	98,37	66,49	59,93	64,90	87,22	74,90	96,28
Peso cap. + suelo seco (gr.)	81,55	95,75	63,32	56,99	60,51	81,20	68,49	86,79
Peso cápsula (gr.)	17,79	19,01	11,66	11,52	15,16	18,54	16,25	18,17
Contenido de Humedad (%)	3,32	3,41	6,14	6,47	9,68	9,61	12,27	13,83
Humedad promedio (%)	3,37		6,30		9,64		13,05	
Densidad seca (gr/cm³)	2,055		2,143		2,140		2,014	

Densidad seca máxima = **2,156** gr/cm³ % Humedad Óptima = **8,00**



Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC.PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

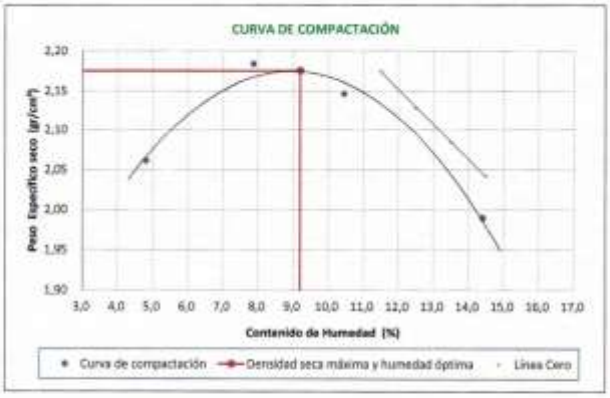
OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
DESCRIPCIÓN : Muestra 4 - Km 59 (vía)
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
NORMA : ASTM D - 1557
FECHA : 06/06/2012

PROCTOR MODIFICADO (2700 KN-m/m³)

MÉTODO : C
Nº DE CAPAS : 5
Nº DE GOLPES POR CAPA : 56
PESO MARTILLO : 10 lb.
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO : 457,2 mm.
VOL. DE MOLDE : 2124 cm³
PESO DEL MOLDE : 6449 gr.

Nº DE PRUEBA	1		2		3		4	
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11.036		11.451		11.483		11.283	
Peso molde (gr.)	6.449		6.449		6.449		6.449	
Peso suelo húmedo (gr.)	4.587		5.002		5.034		4.834	
Densidad húmeda (gr/cm³)	2,160		2,355		2,370		2,276	
Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	86,06	81,14	57,40	72,43	85,60	66,77	86,01	61,89
Peso cap. + suelo seco (gr.)	82,85	78,37	54,11	68,21	79,30	61,47	77,35	55,63
Peso cápsula (gr.)	18,82	18,03	11,54	15,49	18,25	11,41	18,24	11,43
Contenido de Humedad (%)	5,01	4,59	7,73	8,00	10,32	10,59	14,65	14,16
Humedad promedio (%)	4,80		7,87		10,45		14,41	
Densidad seca (gr/cm³)	2,061		2,183		2,146		1,989	

Densidad seca máxima = **2,175** gr/cm³ % Humedad Óptima = **9,20**



Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diego Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

AREA DE MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 2 - Km 35 (Mina)
NORMA : ASTM D - 1557

Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

HINCHAMIENTO

MOLDES N°	26		25		24	
Tiempo (días)	dial	%	dial	%	dial	%
0	0	0,00	0	0,00	0	0,00
1	0	0,00	0	0,00	0	0,00
2	1	0,02	0	0,00	2	0,04
3	1	0,02	0	0,00	2	0,04
4	1	0,02	0	0,00	2	0,04

PENETRACIÓN

MOLDES N°	26		25		24	
	56 Golpes		25 Golpes		10 Golpes	
penetración (pulgadas)	dial	presión lb/plg²	dial	presión lb/plg²	dial	presión lb/plg²
0,000	0	0,00	0	0,00	0	0,00
0,025	30	180,20	15	90,10	11	56,74
0,050	55	183,70	36	120,24	22	73,48
0,075	80	267,20	50	167,00	32	106,88
0,100	110	367,40	68	227,12	43	143,62
0,200	215	718,10	135	450,90	83	277,22
0,300	320	1.068,80	202	674,68	118	394,12
0,400	427	1.426,18	268	895,12	160	534,40
0,500	524	1.750,16	320	1.068,80	200	668,00

VALORES CBR

presión lb/plg²	valor CBR 0.1"	presión lb/plg²	valor CBR 0.2"
367,40	36,74	718,10	47,87
227,12	22,71	450,90	30,06
143,62	14,36	277,22	18,48
CBR (95% gd max.) =	31,10	CBR (95% gd max.) =	18,50

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

AREA DE MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

OBRA	: Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre	**Nº DE RECEPCIÓN :**	S 2041
LOCALIZACIÓN	: Vía Otavalo - Selva Alegre	**SOLICITADO POR :**	Gobierno Provincial de Imbabura
MUESTRA	: Tomada por el cliente	**FISCALIZACIÓN :**	Ing. José Salvador
DESCRIPCIÓN	: Muestra 2 - Km 35 (Mitad)	**CONTRATISTA :**	Gobierno Provincial de Imbabura
NORMA	: ASTM D - 1557	**FECHA :**	06/06/2012

DATOS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

DENSIDAD MÁXIMA :	2,105 gr/cm³	**HUMEDAD ÓPTIMA:**	10,75 %

DATOS DE MOLDEO

Nº DE CAPAS : 5

PESO MARTILLO : 10 lb. **ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO :** 457,2 mm.

MOLDES Nº	26	25	24
Nº DE GOLPES POR CAPA	56	25	10
Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11.608	11.408	11.253
Peso molde (gr.)	6.657	6.680	6.707
Peso suelo húmedo (gr.)	4.951	4.728	4.546
Volumen del molde (cm³)	2.124	2.124	2.124
Densidad húmeda (gr/cm³)	2.331	2.226	2.140

CONTENIDOS DE HUMEDAD AL MOLDEO

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	83,75	79,99	90,03	80,26	68,82	83,92
Peso cap. + suelo seco (gr.)	77,38	73,92	83,14	74,23	63,80	77,87
Peso cápsula (gr.)	17,96	17,58	18,99	18,77	16,25	18,17
Contenido de Humedad (%)	10,72	10,77	10,74	10,87	10,56	10,13
Humedad promedio (%)	10,75		10,81		10,35	
Densidad seca (gr/cm³)	2.105		2.009		1.940	

CONTENIDOS DE HUMEDAD LUEGO DE LA SATURACIÓN

Peso cap. + suelo húmedo (gr.)	70,06	69,66	110,89	110,71	90,80	82,90
Peso cap. + suelo seco (gr.)	70,39	63,39	100,30	100,33	82,44	75,46
Peso cápsula (gr.)	11,50	11,76	18,39	18,67	18,25	18,16
Contenido de Humedad (%)	13,02	12,14	12,93	12,71	13,15	12,98
Humedad promedio (%)	12,58		12,82		13,07	

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA DESPUÉS DE LA SATURACIÓN

Peso molde + suelo húmedo (gr.)	11.652	11.507	11.431
Agua absorbida (gr.)	44	99	178
Agua absorbida (%)	0,89	2,09	3,92

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Gutierrez Ramos M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

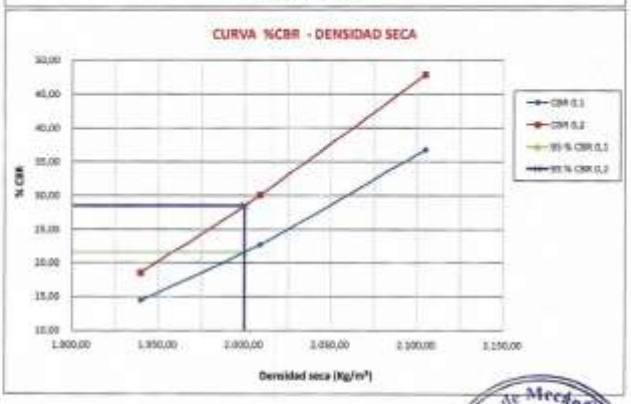
AREA DE MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNICA

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE CBR EN LABORATORIO

OBRA	: Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre	**Nº DE RECEPCIÓN :**	S 2041
LOCALIZACIÓN	: Vía Otavalo - Selva Alegre	**SOLICITADO POR :**	Gobierno Provincial de Imbabura
MUESTRA	: Tomada por el cliente	**FISCALIZACIÓN :**	Ing. José Salvador
DESCRIPCIÓN	: Muestra 2 - Km 35 (Mitad)	**CONTRATISTA :**	Gobierno Provincial de Imbabura
NORMA	: ASTM D - 1557	**FECHA :**	06/06/2012





Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DEL ÁREA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 29 (Material de vía)
NORMA : ASTM D 2166 - 66

N° DE RECEPCIÓN : S 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{superior}$:	101,28 mm	$A_{superior}$:	80,56 cm²	$P_{muestra}$:	3820 gr
D_{medio} :	101,22 mm	A_{medio} :	80,47 cm²	$V_{muestra}$:	1659,57 cm³
$D_{inferior}$:	101,19 mm	$A_{inferior}$:	80,42 cm²	$\gamma_{muestra}$:	2,302 gr/cm³
$H_{muestra}$:	206,22 mm	A_{corr} :	80,48 cm²	γ_{seco} :	2,063 gr/cm³

LECTURA DEL DEFORMÍMETRO (0.01 mm/div)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm²)
0	0	0	80,48	0	0,000
4	0,0010	0,005	80,48	20	0,249
9	0,0023	0,011	80,48	40	0,497
14	0,0036	0,017	80,49	60	0,745
17	0,0043	0,021	80,49	80	0,994
20	0,0051	0,025	80,50	100	1,242
22	0,0056	0,027	80,50	120	1,491
27	0,0069	0,033	80,50	170	2,112
30	0,0076	0,037	80,51	200	2,484
34	0,0086	0,042	80,51	240	2,981
37	0,0094	0,046	80,51	280	3,478
39	0,0099	0,048	80,51	300	3,726
45	0,0114	0,055	80,52	360	4,471
49	0,0124	0,060	80,52	400	4,967
53	0,0135	0,065	80,53	440	5,464
59	0,0150	0,073	80,53	480	5,960
64	0,0163	0,079	80,54	520	6,456
70	0,0178	0,086	80,55	540	6,704
76	0,0193	0,094	80,55	550	6,828
82	0,0208	0,101	80,56	557,97	6,926
96	0,0244	0,118	80,57	498	6,181

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Pcap. + sh.	53,01	gr
Pcap. + ss.	48,68	gr
P cápsula	11,33	gr
% Humedad	11,59	%

ESQUEMA DE FALLA





qu (Kg/cm²)
6,93

Andrea Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE AREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 29 (Material de vía)
NORMA : ASTM D 2166 - 66

N° DE RECEPCIÓN : S 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{superior}$:	101,9 mm	$A_{superior}$:	81,55 cm²	$P_{muestra}$:	3750 gr
D_{medio} :	101,21 mm	A_{medio} :	80,45 cm²	$V_{muestra}$:	1662,95 cm³
$D_{inferior}$:	101,58 mm	$A_{corregida}$:	81,04 cm²	$\gamma_{muestra}$:	2,255 gr/cm³
$H_{inicial}$:	205,98 mm	A_{media} :	80,73 cm²	γ_{seca} :	2,021 gr/cm³

LECTURA DEL DEFORMÍMETRO (0.001" / grad)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg / cm²)
0	0	0	80,73	0	0,000
2	0,0005	0,002	80,74	20	0,248
3	0,0008	0,004	80,74	40	0,495
4	0,0010	0,005	80,74	60	0,743
6	0,0015	0,007	80,74	80	0,991
8	0,0020	0,010	80,74	100	1,239
10	0,0025	0,012	80,74	120	1,486
13	0,0033	0,016	80,75	160	1,982
16	0,0041	0,020	80,75	200	2,477
19	0,0048	0,023	80,75	250	3,096
22	0,0056	0,027	80,76	300	3,715
24	0,0061	0,030	80,76	340	4,210
26	0,0066	0,032	80,76	380	4,705
29	0,0074	0,036	80,76	420	5,200
31	0,0079	0,038	80,76	460	5,696
33	0,0084	0,041	80,77	500	6,191
36	0,0091	0,044	80,77	540	6,686
42	0,0107	0,052	80,78	620	7,676
47	0,0119	0,058	80,78	660	8,170
54	0,0137	0,067	80,79	680	8,417
64	0,0163	0,079	80,80	698,09	8,640
70	0,0178	0,086	80,80	684	8,465

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Peap. + sh.	53,31	gr
Peap. + ss.	48,68	gr
P cápsula	11,33	gr
% Humedad	11,59	%

ESQUEMA DE FALLA





qu (kg/cm²)
8,64

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORJO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito – Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 1 - Km 29 (Material de vía)
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : 1 2043
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

DATOS INICIALES

D_{arriba} :	101,4	mm	A_{arriba} :	80,75	cm^2	$P_{muestra}$:	3870	gr
D_{medio} :	101,54	mm	A_{medio} :	80,98	cm^2	$V_{muestra}$:	1668,24	cm^3
D_{abajo} :	100,93	mm	$A_{promedio}$:	80,01	cm^2	$\gamma_{húmedo}$:	2,320	gr/cm^3
$H_{inicial}$:	206,52	mm	A_{seca} :	80,78	cm^2	γ_{seco} :	2,079	gr/cm^3

LECTURA DEL DEFORMIMETRO (x 10⁻³ " pulg)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm^2)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm^2)
0	0	0	80,70	0	0,000
30	0,0076	0,037	80,81	30	0,371
48	0,0122	0,059	80,83	60	0,742
52	0,0132	0,064	80,83	100	1,237
58	0,0147	0,071	80,84	140	1,732
60	0,0152	0,074	80,84	180	2,227
62	0,0157	0,076	80,84	240	2,969
64	0,0163	0,079	80,84	280	3,464
66	0,0168	0,081	80,84	320	3,958
68	0,0173	0,084	80,85	400	4,940
71	0,0180	0,087	80,85	480	5,937
74	0,0188	0,091	80,85	560	6,926
75	0,0191	0,092	80,85	600	7,421
77	0,0196	0,095	80,86	680	8,410
79	0,0201	0,097	80,86	720	8,905
81	0,0206	0,100	80,86	800	9,894
85	0,0216	0,105	80,86	920	11,377
90	0,0229	0,111	80,87	1040	12,860
97	0,0246	0,119	80,88	1220	15,085
103	0,0262	0,127	80,88	1320	16,320
110	0,0279	0,135	80,89	1420	17,555
115	0,0292	0,141	80,89	1460	18,049
119	0,0302	0,146	80,90	1494,8	18,478
125	0,0318	0,154	80,90	1424	17,601

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Psap. + sh.	53,01	gr
Psap. + ss.	48,68	gr
P cápsula	11,33	gr
% Humedad	11,59	%

ESQUEMA DE FALLA



GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



qu (kg/cm²)
18,48

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 3 - Km 46 (vía)
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

DATOS INICIALES

D_{corona} :	100,55	mm	A_{corona} :	79,41	cm²	$P_{muestra}$:	3740	gr
$D_{muestra}$:	100,36	mm	$A_{muestra}$:	79,11	cm²	$V_{muestra}$:	1630,30	cm³
D_{corona} :	100,93	mm	A_{corona} :	80,01	cm²	γ_{corona} :	2,294	gr/cm³
$H_{muestra}$:	205,57	mm	$A_{muestra}$:	79,31	cm²	$\gamma_{muestra}$:	2,107	gr/cm³

LECTURA DEL DEFORMIMETRO (x 10⁻³ pulg)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm²)
0	0	0	79,31	0	0,000
12	0,0030	0,015	79,32	20	0,252
21	0,0053	0,026	79,33	40	0,504
26	0,0066	0,032	79,33	60	0,756
30	0,0076	0,037	79,34	80	1,008
33	0,0084	0,041	79,34	100	1,260
39	0,0099	0,048	79,34	150	1,890
43	0,0109	0,053	79,35	200	2,521
49	0,0124	0,061	79,35	250	3,150
55	0,0140	0,068	79,36	300	3,780
61	0,0155	0,075	79,37	350	4,410
69	0,0175	0,085	79,37	400	5,039
74	0,0188	0,091	79,38	450	5,669
79	0,0201	0,098	79,38	500	6,299
85	0,0216	0,105	79,39	550	6,928
89	0,0226	0,110	79,39	600	7,557
92	0,0234	0,114	79,40	650	8,187
96	0,0244	0,119	79,40	700	8,816
101	0,0257	0,125	79,41	750	9,445
104	0,0264	0,129	79,41	800	10,074
109	0,0277	0,135	79,41	880	11,081
115	0,0292	0,142	79,42	980	12,340
123	0,0312	0,152	79,43	1100	13,849
139	0,0353	0,172	79,44	1210,8	15,241
145	0,037	0,179	79,45	1187	14,940

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Pcap. + sh.	75,03	gr
Pcap. + ss.	70,39	gr
P cápsula	16,00	gr
% Humedad	8,89	%

ESQUEMA DE FALLA





qu (Kg/cm²)
15,24

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Gilberto Respe M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 3 - Km 46 (vía)
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

DATOS INICIALES

D_{corona} :	101,16	mm	A_{corona} :	80,37	cm^2	$P_{muestra}$:	3780	gr
D_{base} :	101,08	mm	A_{base} :	80,25	cm^2	$V_{muestra}$:	1662,67	cm^3
$D_{promedio}$:	101,32	mm	$A_{corregida}$:	80,63	cm^2	$\gamma_{muestra}$:	2,273	gr/cm^3
$H_{muestra}$:	206,98	mm	A_{media} :	80,33	cm^2	γ_{seco} :	2,088	gr/cm^3

LECTURA DEL DEFORMIMETRO (0.01 * pulg)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm^2)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm^2)
0	0	0	80,33	0	0,000
2	0,0005	0,002	80,33	20	0,249
4	0,0010	0,005	80,33	40	0,498
7	0,0018	0,009	80,34	60	0,747
9	0,0023	0,011	80,34	80	0,996
12	0,0030	0,015	80,34	100	1,245
15	0,0038	0,018	80,34	150	1,867
19	0,0048	0,023	80,35	200	2,489
21	0,0053	0,026	80,35	250	3,111
25	0,0064	0,031	80,35	300	3,733
28	0,0071	0,034	80,36	350	4,356
31	0,0079	0,038	80,36	400	4,978
33	0,0084	0,040	80,36	440	5,475
37	0,0094	0,045	80,37	520	6,470
40	0,0102	0,049	80,37	560	6,968
43	0,0109	0,053	80,37	600	7,465
51	0,0130	0,063	80,38	760	9,455
52	0,0132	0,064	80,38	800	9,953
59	0,0150	0,072	80,39	980	12,191
63	0,0160	0,077	80,39	1100	13,683
73	0,0185	0,090	80,40	1350	16,791
78	0,0198	0,096	80,41	1500	18,655
82	0,0208	0,101	80,41	1580	19,649
85	0,0216	0,104	80,41	1600	19,897
87	0,022	0,107	80,42	1614,8	20,081
95	0,024	0,117	80,42	1452	18,054

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Psup. + sh.	70,88	gr
Psup. + ss.	70,39	gr
P cápsula	18,08	gr
% Humedad	8,09	%

ESQUEMA DE FALLA



GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



qu (Kg/cm²)
20,08

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE AREA

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento de la vía Caicocha, Apuela, Aguagrum
LOCALIZACIÓN : Prov. de Imbabura
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 3 - Km 46 (vía)
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : 5 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{superior}$:	100,58	mm	$A_{superior}$:	79,39	cm²	$P_{muestra}$:	3860	gr
D_{medio} :	101,34	mm	A_{medio} :	80,66	cm²	$V_{muestra}$:	1646,55	cm³
$D_{inferior}$:	101,28	mm	$A_{inferior}$:	80,56	cm²	$\gamma_{muestra}$:	2,345	gr/cm³
$H_{muestra}$:	204,69	mm	$A_{corregida}$:	80,43	cm²	γ_{seco} :	2,101	gr/cm³

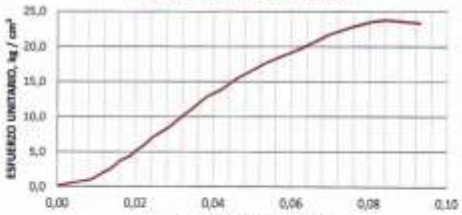
LECTURA DEL DEFORMIMETRO (0.01" - 2mm)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg / cm²)
0	0	0	80,43	0	0,000
5	0,0008	0,004	80,43	40	0,497
7	0,0018	0,009	80,44	80	0,995
9	0,0023	0,011	80,44	150	1,865
11	0,0028	0,014	80,44	200	2,486
12	0,0030	0,015	80,44	250	3,108
13	0,0033	0,016	80,44	300	3,729
15	0,0038	0,019	80,45	350	4,351
16	0,0041	0,020	80,45	400	4,972
18	0,0046	0,022	80,45	480	5,966
20	0,0051	0,025	80,45	580	7,209
23	0,0058	0,029	80,45	680	8,452
26	0,0066	0,032	80,46	820	10,192
29	0,0074	0,036	80,46	950	11,807
31	0,0079	0,038	80,46	1040	12,925
34	0,0086	0,042	80,47	1120	13,919
37	0,0094	0,046	80,47	1240	15,410
43	0,0109	0,053	80,47	1420	17,645
50	0,0127	0,062	80,48	1580	19,632
56	0,0142	0,069	80,49	1740	21,618
61	0,0155	0,076	80,49	1840	22,859
65	0,0165	0,081	80,50	1890	23,479
68	0,0173	0,084	80,50	1908,3	23,703
75	0,0191	0,093	80,51	1876	23,302

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Prap. + sh.	53,02	gr
Prap. + ss.	48,68	gr
P cápsula	11,33	gr
% Humedad	11,59	%

ESQUEMA DE FALLA



GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



qu (Kg/cm²)
23,70

Andrés Muñiz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diego Sánchez
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Gustavo Recalde M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Laboratorio de Mecánica de Suelos

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 4 - Km 39 (vía)
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

DATOS INICIALES

D superior :	100,27	mm	A superior :	78,96	cm²	P muestra :	3720 gr
D medio :	100,95	mm	A medio :	80,04	cm²	V muestra :	1659,87 cm³
D inferior :	100,8	mm	A corregida :	79,80	cm²	γ muestra :	2,241 gr/cm³
H inicial :	207,95	mm	A inicial :	79,82	cm²	γ seco :	2,008 gr/cm³

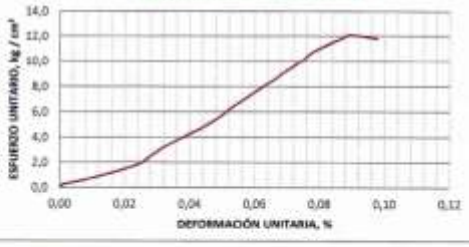
LECTURA DEL DEFORMÍMETRO (0.01 mm)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg / cm²)
0	0	0	79,82	0	0,000
1	0,0003	0,001	79,82	20	0,251
5	0,0013	0,006	79,83	40	0,501
8	0,0020	0,010	79,83	60	0,752
11	0,0028	0,013	79,83	80	1,002
14	0,0036	0,017	79,83	100	1,253
20	0,0051	0,024	79,84	150	1,879
23	0,0058	0,028	79,84	200	2,505
26	0,0066	0,032	79,85	250	3,131
31	0,0079	0,038	79,85	320	4,007
36	0,0091	0,044	79,86	380	4,759
40	0,0102	0,049	79,86	440	5,510
43	0,0109	0,053	79,86	500	6,261
46	0,0117	0,056	79,87	550	6,887
49	0,0124	0,060	79,87	600	7,512
52	0,0132	0,064	79,87	650	8,138
54	0,0137	0,066	79,87	680	8,514
56	0,0142	0,068	79,88	720	9,014
61	0,0155	0,075	79,88	800	10,015
64	0,0163	0,078	79,88	860	10,766
71	0,0180	0,087	79,89	940	11,766
73	0,0185	0,089	79,89	963,91	12,065
80	0,0203	0,098	79,90	942	11,790

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Psup. + sh.	33,01	gr
Psup. + ss.	40,68	gr
P cápsula	11,33	gr
% Humedad	11,59	%

ESQUEMA DE FALLA



GRÁFICO ESFUERZO - DEFORMACIÓN



qu (kg/cm²)
12,07

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Guillermo Rec... M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 4 - Km 59 (vía)
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{superior}$:	101,17	mm	$A_{superior}$:	80,39	cm^2	$P_{muestra}$:	3820	gr
D_{medio} :	100,82	mm	A_{medio} :	79,83	cm^2	$V_{muestra}$:	1648,78	cm^3
$D_{inferior}$:	101,86	mm	$A_{inferior}$:	81,49	cm^2	$\gamma_{muestra}$:	2,317	gr/cm^3
$H_{inicial}$:	205,58	mm	A_{corr} :	80,20	cm^2	γ_{seca} :	2,076	gr/cm^3

LECTURA DEL DEFORMÍMETRO (x 10⁻² pulg)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm^2)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm^2)
0	0	0	80,20	0	0,000
6	0,0015	0,007	80,21	40	0,499
14	0,0036	0,017	80,22	80	0,997
17	0,0043	0,021	80,22	120	1,496
18	0,0046	0,022	80,22	140	1,745
20	0,0051	0,025	80,22	180	2,244
22	0,0056	0,027	80,22	240	2,992
24	0,0061	0,030	80,23	280	3,490
27	0,0069	0,033	80,23	320	3,989
30	0,0076	0,037	80,23	380	4,736
32	0,0081	0,040	80,23	440	5,484
36	0,0091	0,044	80,24	540	6,730
38	0,0097	0,047	80,24	600	7,478
40	0,0102	0,049	80,24	680	8,474
42	0,0107	0,052	80,24	730	9,097
45	0,0114	0,056	80,25	800	9,969
48	0,0122	0,059	80,25	930	11,589
49	0,0124	0,061	80,25	960	11,963
52	0,0132	0,064	80,25	1040	12,959
57	0,0145	0,070	80,26	1200	14,952
59	0,0150	0,073	80,26	1280	15,948
61	0,0155	0,075	80,26	1360	16,944
62	0,0157	0,077	80,26	1393,3	17,359
65	0,0165	0,080	80,27	1374	17,118

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Pcap. + sh.	53,01	gr
Pcap. + ss.	48,68	gr
P cápsula	11,33	gr
% Humedad	11,59	%

ESQUEMA DE FALLA





qu (Kg/cm²)
17,36

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Diana Sánchez
RESPONSABLE DE AREA

Ing. Gabriela Recalde
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

INFORME DE ENSAYO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

OBRA : Mejoramiento Vía Otavalo - Selva Alegre
LOCALIZACIÓN : Vía Otavalo - Selva Alegre
MUESTRA : Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN : Muestra 4 - Km 59 (vía)
NORMA : ASTM D 2166 - 66

Nº DE RECEPCIÓN : S 2041
SOLICITADO POR : Gobierno Provincial de Imbabura
FISCALIZACIÓN : Ing. José Salvador
CONTRATISTA : Gobierno Provincial de Imbabura
FECHA : 06/06/2012

DATOS INICIALES

$D_{corregido}$:	101,2 mm	$A_{corregido}$:	80,44 cm²	$P_{muestra}$:	3920 gr
D_{medio} :	101,38 mm	A_{medio} :	80,72 cm²	$V_{muestra}$:	1659,71 cm³
D_{menor} :	101,29 mm	A_{menor} :	80,58 cm²	$\gamma_{muestra}$:	2,362 gr/cm³
H_{media} :	205,79 mm	A_{media} :	80,65 cm²	γ_{seco} :	2,116 gr/cm³

LECTURA DEL DEFORMIMETRO (0.01 * pulg)	DEFORMACIÓN DE LA MUESTRA (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA (%)	ÁREA CORREGIDA (cm²)	CARGA MUESTRA (kg)	ESFUERZO UNITARIO (kg/cm²)
0	0	0	80,65	0	0,000
5	0,0013	0,006	80,66	40	0,496
9	0,0023	0,011	80,66	80	0,992
14	0,0036	0,017	80,66	140	1,736
18	0,0046	0,022	80,67	200	2,479
20	0,0051	0,025	80,67	240	2,975
23	0,0058	0,028	80,67	320	3,967
26	0,0066	0,032	80,68	400	4,958
29	0,0074	0,036	80,68	480	5,949
30	0,0076	0,037	80,68	520	6,445
32	0,0081	0,039	80,68	600	7,437
36	0,0091	0,044	80,69	720	8,923
37	0,0094	0,046	80,69	800	9,915
39	0,0099	0,048	80,69	850	10,534
42	0,0107	0,052	80,69	960	11,897
44	0,0112	0,054	80,69	1040	12,888
46	0,0117	0,057	80,70	1120	13,879
50	0,0127	0,062	80,70	1280	15,861
53	0,0135	0,065	80,70	1360	16,852
58	0,0147	0,072	80,71	1560	19,329
62	0,0157	0,077	80,71	1680	20,815
65	0,0165	0,080	80,72	1800	22,301
67	0,0170	0,083	80,72	1840	22,796
71	0,0180	0,088	80,72	1855,1	22,981
75	0,019	0,093	80,73	1754	21,728

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Pcap. + sh.	88,01	gr
Pcap. + ss.	48,68	gr
P cápsula	11,33	gr
% Humedad	11,59	%

ESQUEMA DE FALLA





qu (Kg/cm²)
22,98

Andrés Muñoz
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. Darío Sánchez
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Guillermo Ruiz M.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales

ANEXO NORMATIVA

Estos precios y pago constituirán la compensación total por la preparación y suministro y transporte de los agregados, mezcla, distribución, tendido, hidratación, conformación y compactación del material empleado para la capa de base, incluyendo mano de obra, equipo, herramientas, materiales y más operaciones conexas en la realización completa de los trabajos descritos en esta sección.

Nº del Rubro de Pago y Designación		**Unidad de Medición**
404-1	Base, Clase...., ...	Metro cúbico (m^3)

404-2. Base de Agregados Estabilizada con Cemento Portland.

404-2.01. Descripción.- Este trabajo consistirá en la construcción de capas de base compuestas de agregados triturados o cribados, o de una combinación de ambos, cemento Portland y agua, mezclados en una planta central o sobre el camino. Se llevará a cabo para mejorar las características mecánicas de los agregados en caso de que no cumplan los requisitos especificados en el numeral 404-1.02, para la base de agregados. La capa de base se colocará sobre una sub-base terminada y aprobada que se halle dentro de las alineaciones, pendientes y sección transversal señaladas en los planos contractuales.

404-2.02. Materiales.- Los materiales que se emplearán en la construcción de las capas de base de agregados estabilizada con cemento Portland, serán agregados triturados o cribados o una mezcla de ambos. En todo caso los agregados deberán hallarse uniformemente graduados dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 404-2.1. para el agregado grueso y el agregado fino, cuyo diseño y fórmula de trabajo será proporcionada por el Contratista y aprobada por el Fiscalizador.

Los materiales bien graduados contendrán entre un 55% y un 65% de agregado grueso retenido en el tamiz Nº 4.

El aglutinante para la mezcla estará constituido por cemento Portland tipo I o tipo II, que cumpla con los requisitos de la Sección 802.

El agua para la hidratación de la mezcla deberá cumplir las exigencias de la Sección 804.

Los yacimientos que serán explotados para la obtención de los agregados de base, estarán señalados en los documentos contractuales.

Tabla 404-2.1

TAMIZ	**Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada**

	Agregado grueso	Agregado fino
2" (50.8 mm.)	100	
11/2" (38,1mm.)	95 - 100	--
3/4"(19.0 mm.)	40 - 100	--
N° 4 (4.76 mm.)	0 - 5	80 - 100
N° 10 (2.00 mm.)	--	50 - 85
N° 40 (0.425 mm.)	--	15 - 45
N° 200 (0.075 mm.)	--	0 - 10

404-2.03. Equipo.- El Contratista deberá disponer, en el trabajo, de todo el equipo necesario, autorizado por el Fiscalizador, y en perfectas condiciones de trabajo. Por lo general, el equipo mínimo necesario según el procedimiento de construcción, contará con planta de trituración o de cribado; planta dosificadora-mezcladora para la incorporación del cemento, mezcladoras móviles o rastras de discos, motoniveladoras, equipo de transporte, distribuidoras de base, tanqueros para hidratación, rodillos lisos de tres ruedas, rodillos vibratorios y neumáticos.

404-2.04. Ensayos y Tolerancias.- La granulometría de la mezcla de agregados para la base será comprobada mediante el ensayo INEN 696 y 697 (AASHTO T-11 y T-27), una vez terminada la preparación de los agregados en planta o en el camino, y antes de proceder a la incorporación del cemento. Los demás requisitos que deben cumplir los agregados serán comprobados de acuerdo con lo establecido en la subsección 815-2. La comprobación de las exigencias de los agregados en planta, no eximirá al Contratista de la obligación de mantenerlas hasta que el material se incorpore a la obra.

Para comprobar la calidad de la construcción de las capas de base, se deberán efectuar los ensayos de Densidad máxima y Humedad óptima, mediante las normas AASHTO T-134; la comprobación de la Densidad de campo, que no será menor al 100% de la densidad máxima establecida, mediante el uso de equipo nuclear debidamente calibrado o mediante el ensayo AASHTO T-147.o T-191; el contenido de partículas finas plásticas, mediante el ensayo AASHTO T-176; el contenido de cemento en la mezcla, mediante el ensayo AASHTO T-211, y se deberán efectuar ensayos de compresión simple para comprobar que esta resistencia no sea inferior a 25 Kg/cm^2.

En ningún punto de la capa de base terminada, el espesor deberá variar en más de un centímetro con el espesor indicado en los planos; sin embargo, el promedio de los espesores comprobados no podrá ser inferior al especificado.

Estos espesores y la densidad de la base serán medidos luego de la compactación final de la base, cada 100 metros de longitud, en puntos alternados al eje y a los costados del camino. Cuando una medición señale una variación mayor que la

tolerancia indicada, se efectuarán las mediciones adicionales que sean necesarias a intervalos más cortos, para determinar el área de la zona deficiente. Para corregir el espesor inaceptable, el Contratista deberá escarificar, a su costa, esa zona en todo el espesor de la capa construida y retirar o agregar el material necesario, para proceder de inmediato a la conformación y compactación con los niveles y espesores del proyecto. Sin embargo, entes de corregir los espesores deberá tomarse en consideración las siguientes tolerancias adicionales: si el espesor sobrepasa lo estipulado en los documentos contractuales y la cota de la superficie se halla dentro de un exceso de 1.5 centímetros sobre la cota del proyecto, no será necesario efectuar correcciones; así mismo, si el espesor es menor que el estipulado y la cota de la superficie se halla dentro de un faltante de 1.5 centímetros de la cota del proyecto, podrá no corregirse el espesor de la base, siempre y cuando el espesor de la base terminada sea mayor a 10 centímetros, y la capa de rodadura sea de hormigón asfáltico o hidráulico, y el espesor faltante sea compensado con el espesor de la capa de rodadura hasta llegar a la rasante.

En caso de que las mediciones de espesor y los ensayos de densidad sean efectuados por medio de perforaciones, el Contratista deberá rellenar los orificios, con idéntica mezcla a la empleada en la construcción, y compactar el material cuidadosamente, a satisfacción del Fiscalizador, sin que se efectúe ningún pago por estos trabajos.

Como está indicado, las cotas de la superficie terminada no podrán variar en más de 1.5 centímetros de los niveles del proyecto, para comprobar lo cual deberán realizarse nivelaciones minuciosas a lo largo del eje y en forma transversal.

En caso de encontrarse deficiencias en la compactación de la base, se efectuará la corrección necesaria utilizando un procedimiento análogo al descrito para corregir los espesores.

404-2.05. Procedimiento de trabajo.

404-2.05.1.Preparación de la Sub-base.- La superficie de la sub-base deberá hallarse terminada conforme a los requerimientos estipulados para la Sección 403.

Deberá hallarse libre de cualquier material extraño antes de iniciar el transporte del material de base a la vía, y antes del tendido de la mezcla de base deberá ser humedecida uniforme y convenientemente, evitando cualquier exceso que cause daños en la superficie.

Antes de proceder a la construcción completa de esta capa de base el Contratista deberá realizar un tramo de prueba de un kilómetro de longitud aproximadamente, utilizando los procedimientos descritos en esta sección. Este tramo de prueba será revisado y analizado cuidadosamente por el Contratista y por el Fiscalizador, durante por lo menos 30 días, después de lo cual, se tomará la decisión más conveniente para garantizar la calidad y eficiencia de la base que se construirá.

404-2.05.2.Mezclado y Tendido.- La mezcla de los agregados, cemento y agua, podrá ser realizada en planta o en el camino, de acuerdo con lo determinado en los documentos contractuales. En todo caso, el Fiscalizador no autorizará la iniciación del trabajo antes de que el Contratista haya estudiado y presentado a su aprobación el diseño y fórmula de trabajo en la que se indique la granulometría de los agregados y establezca el contenido de cemento, el contenido de agua para la mezcla y compactación, la densidad mínima y la resistencia mínima a la compresión simple.

- Mezcla en planta: En caso de utilizarse la mezcla en planta, deberá usarse una planta dosificadora-mezcladora provista de tolvas, sistema de dosificación de los agregados, el cemento y el agua, mezcladora de paletas o de tambor, que pueda trabajar por paradas o mezcla continua y con dosificaciones al peso.

La carga de los materiales deberá efectuarse de manera uniforme y el tiempo de la mezcla será de 45 segundos a un minuto, en tal forma que se asegure la distribución completa y uniforme del cemento en toda la mezcla. La cantidad de agua que se incorpore a la mezcla será la necesaria para obtener la humedad óptima para compactación.

La mezcla preparada en la planta será transportada al camino en camiones de volteo, en donde deberá ser distribuida de inmediato por máquinas distribuidoras de base, preferiblemente autopropulsadas, aprobadas por el Fiscalizador, y que sean capaces de colocar la mezcla en el espesor y ancho requeridos y de acuerdo a la sección transversal especificada para proceder a la compactación. Previamente a la distribución de la mezcla, se humedecerá la superficie de la sub-base.

- Mezcla en sitio: El mezclado de los agregados, cemento y agua puede ser realizado también sobre el camino, en cuyo caso se deberá transportar al sitio el agregado grueso que será tendido en una capa de ancho y espesor uniforme a lo largo de la vía, sobre la cual se distribuirá el agregado fino en otra capa uniforme en la proporción necesaria. Estas fracciones de agregados serán mezcladas por medio de máquinas mezcladoras, rastras de discos y motoniveladora, hasta conseguir una mezcla uniforme y de acuerdo con la granulometría especificada. La mezcla será entonces tendida a todo lo ancho de la vía, y sobre ella se distribuirá el cemento necesario, por medio de esparcidores mecánicos si se usa a granel o manualmente si se utiliza cemento en sacos.

El cemento deberá ser distribuido con precisión y uniformidad en la proporción determinada en la fórmula de trabajo preparada por el Contratista y aprobada por el Fiscalizador, con una variación máxima de 5%. Se deberá cuidar que al momento de la distribución del cemento no soplen vientos que impidan la ejecución del trabajo.

Una vez distribuido el cemento, se procederá al mezclado mediante máquinas

mezcladoras o rastras de discos, agregándose simultáneamente el agua necesaria hasta conseguir la humedad óptima; luego se conformará para proceder a la compactación de la capa completa.

La colocación del material de base en zonas limitadas de forma irregular, como intersecciones, islas centrales y divisorias, rampas, etc., podrá ser efectuada con otros métodos de distribución mecánicos o manuales que produzcan los mismos resultados y sean aceptables al Fiscalizador.

Desde el inicio de la colocación de la mezcla de base en la vía, con cualquiera de los métodos empleados, hasta la terminación de la compactación, deberá suspenderse toda circulación de vehículos y equipo que no sea el directamente requerido en cada fase de la obra.

404-2.05.3.Compactación.- Una vez completado el tendido y la conformación de la capa de base, deberá procederse a la compactación, la cual será terminada dentro de un lapso máximo de dos horas a partir del mezclado e hidratación final. Al efecto, se utilizarán rodillos lisos de 8 a 12 toneladas, rodillos vibratorios de fuerza de compactación equivalente o mayor, rodillos neumáticos u otro tipo de compactadores aprobados. Si, por alguna razón, la mezcla permanece por más de las dos horas indicadas sin que haya sido compactada, deberá ser removida y desalojada, a costa del Contratista.

Para lograr un curado completo de la capa de base, no se construirá con espesores mayores a 15 centímetros. Si el espesor de la base terminada fuere mayor, la construcción deberá dividirse en capas de espesor aproximadamente igual.

El proceso de compactación será uniforme para el ancho total de la base, iniciándose a los costados de la vía y avanzando hacia el eje central, traslapando en cada pasada de los rodillos la mitad del ancho de la pasada inmediata anterior. Durante este rodillado se continuará humedeciendo levemente el material en todo lo que sea necesario, hasta lograr la compactación total especificada en toda la profundidad de la capa. De obtenerse valores menores a los especificados, el Contratista deberá continuar con el riego de agua y compactación hasta conseguir la densidad necesaria.

Las áreas no accesibles a los rodillos podrán ser compactadas con apisonadores mecánicos o placas vibratorias, en la forma que permita lograr una densidad uniforme igual a la requerida.

Al final de cada jornada, deberá terminarse el trabajo formando una junta de construcción vertical de espesor completo, perpendicular al eje del camino y en todo el ancho. De igual manera se procederá cuando la construcción tenga que ser paralizada por más de dos horas. Esta junta deberá ser inspeccionada y aprobada por el Fiscalizador antes de continuar la colocación del material de base en adelante. En caso de que la construcción de la capa no alcance el ancho total de la vía en cada vez, se deberá formar una junta de construcción longitudinal

con cara vertical, de espesor completo, unos 5 a 10 centímetros adentro del borde de la capa del material colocado. Para continuar con la construcción del ancho faltante y en las demás juntas de construcción, se deberá previamente humedecer el material compactado antes de colocar el resto de material para la base.

404-2.05.4.Curado.- Una vez que la base haya sido compactada y se halle terminada, de acuerdo con todos los requerimientos contractuales, deberá protegerse contra el secamiento prematuro mediante la aplicación de un riego de asfalto diluido de curado rápido o de asfalto emulsionado. La cantidad exacta de riego asfáltico será determinada por el Fiscalizador, pero en general será de 0.50 a 0.80 litros por metro cuadrado. Al momento de distribuirse el asfalto, la superficie terminada deberá hallarse húmeda y libre de cualquier material extraño. La circulación vehicular deberá ser prohibida totalmente durante 48 horas por lo menos, después de lo cual, caso de ser imprescindible reabrir el tránsito, el Contratista cubrirá la base con una capa de arena que se la dejará en sitio hasta completar 7 días, para proteger el riego asfáltico, y se permitirá una circulación vehicular restringida y controlada.

Si la base se construye en más de una capa, el curado indicado será empleado en la capa superior. En las capas inferiores se utilizará un curado con agua cubriendo la base con una capa de arena, que se la mantendrá húmeda al menos por 72 horas y se la dejará en sitio hasta completar 7 días, después de lo cual se retirará y barrerá a satisfacción del Fiscalizador, antes de iniciar la colocación de la capa siguiente.

404-2.06. Medición.- Las cantidades a pagarse por la base de agregados estabilizados con cemento Portland, serán el volumen ejecutado de la capa de base, la cantidad de cemento empleada en la obra de acuerdo al diseño, y el asfalto empleado para el curado, todo de acuerdo a las estipulaciones contractuales y a las instrucciones del Fiscalizador.

La unidad de medida de la base efectivamente construida bajo estas especificaciones, será el metro cúbico, y el volumen será medido después de la compactación, en base a la longitud construida, medida horizontalmente a lo largo del eje de la vía, y a la sección transversal especificada en los planos y aceptada por el Fiscalizador.

La unidad de medida para el cemento Portland efectivamente utilizado para la estabilización de la base, será la tonelada aceptada en la obra por el Fiscalizador.

La unidad de medida para el asfalto diluido realmente empleado en el riego de curado será el litro, en base a la cantidad indicada por el Fiscalizador y comprobada en sitio.

No se efectuará ningún pago adicional por el agua empleada para la mezcla, compactación y curado, ni por la arena que sea necesario colocar para el curado o para la protección del riego asfáltico.

404-2.07. Pago.- Las cantidades determinadas en la forma indicada en el numeral anterior se pagarán a los precios señalados en el contrato para los rubros designados a continuación.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por la preparación y suministro de los agregados, mezcla, transporte, distribución, incorporación y mezclado del cemento, tendido, hidratación, conformación, compactación y curado de la capa de base; así como por mano de obra, equipo, herramientas, materiales y operaciones conexas en la realización completa de los trabajos descritos en esta sección.

Nº del Rubro de Pago y Designación		**Unidad de Medición**
404-2 (1)	Base de agregados estabilizados con cemento Pórtland	Metro cúbico (m^3)
404-2 (2)	Suministro y distribución de cemento Pórtland	Tonelada (t)
404-2 (3)	Suministro y distribución de asfalto para curado	Litro (l)

404-3. Base de Agregados Estabilizados con Cal.

404-3.01. Descripción.- Este trabajo consistirá en la construcción de capas de base de agregados, estabilizadas con cal hidratada y agua, colocadas sobre una sub-base previamente preparada y aprobada, y de conformidad con los alineamientos y sección transversal especificada en los planos contractuales. Se llevará a cabo para mejorar las características mecánicas de los agregados en caso de que no cumplan con los requisitos especificados en el numeral 404-1.02, para la Base de agregados.

404-3.02. Materiales.- Los agregados por emplear serán los especificados para bases clase 3 o clase 4, y deberán cumplir los requisitos de granulometría correspondientes a ellos, según lo indicado en el numeral 404-1.02.

La cal hidratada deberá cumplir con las exigencias anotadas en la subsección 815-3 y el agua debe satisfacer los requisitos de la Sección 804.

404-3.03. Equipo.- El Contratista deberá disponer de todo el equipo necesario para la construcción de la base estabilizada con cal, que será como mínimo el establecido en el numeral 404-2.03.

El equipo deberá ser aprobado por el Fiscalizador antes de su utilización en la obra.

404-3.04. Ensayos y Tolerancias.- Los ensayos que deberán efectuarse para el control de los materiales y de la construcción serán los establecidos en el numeral, 404-2.04, con excepción del contenido de cemento en la mezcla, que

NORMA PANAMEÑA

CAPITULO 72

ESTABILIZACION DE SUELO-CEMENTO PARA BASE DE PAVIMENTO

1. DESCRIPCIÓN

Este trabajo consistirá en la construcción de una sola capa compactada de suelo natural adicionado con cemento, colocado sobre una subrasante, preparada y terminada de acuerdo con estas especificaciones, y de conformidad con las líneas, rasantes, espesores y secciones transversales típicas mostradas en los planos. El material que se colocará, será indicado en la sección típica del pavimento y en el Formulario de propuesta bajo el detalle ***Base de Suelo Cemento.***

2. MATERIALES

Los materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de Suelo Cemento deberán cumplir con las siguientes características:

a. *Contenido de finos que pasa tamiz #200 inferior a 50%*
b. *Contenido de arcilla inferior a 15%*
c. *Retenido en la malla #4 menor del 45%*
d. *Contenido de materia orgánica inferior al 2%*
e. *Suelos con clasificación GW, GP, SW, SP, GM, SM, GC, SC, ML. Se descartan los desechos de construcción y suelos orgánicos.*
f. *PH mínimo=12.1*
g. *La humedad de la mezcla tendrá una tolerancia máxima de 5% por encima de la humedad óptima .*
h. *Límite líquido menor al 50%*
i. *Índice plástico menor a 25%*
j. *Contenido de arcillas y limos menor al 25%*

Nota: El espesor de la base debe exceder mínimo los dos tercios (2/3) del tamaño del agregado máximo del suelo a estabilizar.

2.1. Cemento Pórtland

El cemento debe cumplir con AASHTO M85 o ASTM C-150.

2.2. Agua

Debe estar libre de cantidades perjudiciales de álcalis, ácidos o materiales orgánicos.

3. CONTROL DE CALIDAD

El ***Ingeniero Residente*** *hará suficientes pruebas o ensayos, con apoyo del laboratorio, de los materiales adicionados con cemento para pavimento. Se harán especímenes moldeados para un próctor modificado, curado a los siete días de edad y ensayado para una resistencia a la compresión no confinada que debe obtener un mínimo de 30 Kg/cm2.. AASHTO T208 prueba a compresión no confinada a fin de mantener un adecuado control de los materiales y de las operaciones de construcción. El contratista deberá reemplazar o corregir, a sus expensas, todo material a utilizarse como suelo cemento, que no cumpla con los requisitos estipulados.*

Además de la prueba a compresión, se deberá encontrar la humedad óptima de compactación de la mezcla de suelo cemento.

(Relación Densidad Humedad Optima AASHTO T134).

Antes de colocar el cemento, durante la ejecución de los trabajos, se determinará la humedad del suelo del lugar para encontrar la cantidad de agua necesaria con el fin de alcanzar la humedad óptima.

Cuando se inicie el proceso de incorporación de agua de mezclado al suelo cemento, se deberán hacer análisis de humedad para buscar la humedad óptima antes de iniciar la compactación.

Durante el proceso de compactación, se deberá determinar el porcentaje de compactación en campo. Normas AASHTO T204, T205, T238 o T191.

4. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE CEMENTO

Para determinar el óptimo de dosificación del cemento por volumen agregado a la masa natural del suelo, el Contratista a través de un laboratorio de reconocida experiencia, procederá a ejecutar sondeos de línea a una profundidad igual a la del espesor de la base a colocar.

El Contratista debe:

a. *Definir la clasificación SUCS o AASHTO del tipo de material existente.*
Luego se le determinan, al suelo natural, los límites de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico e Indice de Plasticidad), prueba de Próctor estándar (Densidad máxima y Humedad Optima) y ensayo de CBR, y finalmente PH.

b. *Preparar especímenes con diversas mezclas para realizar las pruebas de laboratorio pertinentes. Se preparan dos especímenes de cada mezcla con la humedad óptima obtenida en la prueba de compactación.*

c. *Preparar mezclas iniciales según tabla 1.*

Tabla 1. Contenido de cemento aproximados para proyectar las mezclas de suelo cemento según la P C A

GRUPO DE SUELO SEGÚN LA AASHTO M145 (S.I.) ASTM D2487 (SIST.UNIF.)	% DE CEMENTO REQUERIDO % EN PESO	CONTENIDO DE CEMENTO ESTIMADO PARA LA PRUEBA DE COMPACTACION % EN PESO	CONTENIDO DE CEMENTO PARA PRUEBA DE HUMEDAD SECADO % EN PESO
A-1-a (GW,GP,SW,SP)	3.0 - 5.0	5	3 - 4 - 5 - 7
A-1-b (SW,SP,GM,SM,GP)	5.0 - 8.0	6	4 - 6 - 8
A-2 (GM,SM,GC,SC)	5.0 - 9.0	7	5 - 7 -9
A-3 (SP)	7.0 - 11.0	9	7 - 9 - 11
A-4 (ML,OL,CL,SM,SC)	7.0 - 12.0	10	8 - 10 - 12
A-5 (OH,MH,ML,OL)	8.0 - 13.0	10	8 - 10 - 12
A-6	9.0 - 15.0	12	10 - 12 - 14

d. *Posteriormente, se someten los especimenes a pruebas de resistencia a la compresión simple y a las pruebas adicionales que fuesen necesarias según lo determinan las necesidades del proyecto.*

Tomando como referencia los parámetros anteriores, se harán diferentes muestras para encontrar el contenido óptimo de cemento que proporcione la resistencia de diseño (30 kg/cm2).

5. CONSTRUCCION

*El **Contratista** adicionará el cemento en cantidades suficientes para construir una base de suelo cemento compactada del espesor y del ancho que indiquen los planos, más los sobreanchos de las curvas.*

*El **Ingeniero Residente**, conjuntamente con el Laboratorio, podrá variar el espesor de la base de acuerdo con la naturaleza de la capa subyacente. Cuando las condiciones locales así lo requieran, el residente podrá ordenar cambios en el ancho de distintas secciones de carretera.*

*El **Ingeniero Residente** indicará las estaciones entre las cuales se encuentran secciones satisfactorias de suelo cemento y comunicará su aceptación al **Contratista** de acuerdo a los resultados satisfactorios de ensayos de laboratorio y de los controles de calidad constructivos verificados por el residente.*

*No se pagarán los tramos de base de suelo cemento en secciones no aprobadas por el **Ingeniero Residente**. El **Contratista** será notificado a fin de que la ponga nuevamente en condiciones satisfactorias, sin costo adicional a la nación.*

5.1. Escarificación

*Se procederá a escarificar con moto niveladora el material a utilizar como suelo cemento cuando así lo ordene el **Ingeniero Residente**.*

Después que el material haya sido esparcido, se escarificará, varias veces hasta que todo el material presente una gradación aceptable. El escarificador deberá ser un modelo de dientes fijos, completos del diámetro y largos suficientes para efectuar una escarificación total y uniforme.

5.2. Colocación, Esparcimiento, Mezclado, Hidratación y Compactación de la Base de Suelo Cemento

Determinada la dosificación por volumen del cemento que debe añadirse al suelo natural, se procederá a determinar el espaciado de los sacos del producto en líneas paralelas a lo largo de la calzada previamente escarificada, definiendo así el área en metros cuadrados, que debe cubrir cada saco.

En caso de utilizar cemento a granel, se determinará el área de rodamiento que se puede trabajar con el contenido de una pipa de cemento. En este caso, se deberá cuidar al solicitar el cemento, que el material no requiera trabajar sobre una longitud mayor a 100 mts.

El Laboratorio ejecutará una prueba de humedad higroscópica del material.

Una vez colocados los sacos del cemento, se procederá a romper la envoltura de los mismos y a vertir manualmente el contenido. Los sacos vacíos serán apilados en un sitio específico para ser retirados al vertedero o quemados en el área del proyecto.

Se procede con el mezclado con equipo apropiado para dicho trabajo, tales como mezcladoras semiromas agrícolas, motoniveladora y aditamentos hidráulicos para mezclado de materiales.

Para garantizar un correcto mezclado en campo, con motoniveladora, es necesario acordonar el material cuando menos dos veces.

Luego se procede a dar un baño con agua, conociendo la humedad higroscópica del material, en forma tal que no exceda hasta un 5% la humedad óptima.

La aplicación del agua necesaria para la compactación del suelo cemento, se hará con lo dispuesto en el capítulo 10 (SUMINISTRO, TRANSPORTE Y APLICACIÓN DE AGUA). Una vez humedecido el material se procede a uniformizar la humedad acordonando el material.

Cuando el material presente una mezcla homogénea de suelo, cemento y agua, se procederá a conformar con moto niveladora. El material suelto se esparcirá con un espesor tal que al ser compactado no resulte en espesores menores al de diseño. El esparcimiento y compactación del suelo cemento, comenzará por el lugar que indique el residente.

El material será colocado y esparcido sin segregación y deberá ser compactado a una densidad no menor que el ciento por ciento (100%) de la densidad máxima. La humedad de compactación deberá ser de hasta cinco por ciento (5%) menor que el porcentaje de humedad óptima, determinada por el ensayo AASHTO T-99.

El residente hará pruebas de densidad del material mezclado con cemento compactado, de acuerdo con el procedimiento AASHTO T-191 o mediante el uso de aparatos de pruebas nucleares, debidamente calibrados. Cada prueba deberá abarcar un área representativa, no mayor de 1250 metros cuadrados con el espesor de diseño para la base .

En los lugares inaccesibles al equipo de compactación, el suelo cemento podrá ser compactado totalmente por medio de apisonadores manuales de rejilla para las capas inferiores, y apisonadores lisos para el acabado superficial en la forma indicada por el ***Ingeniero Residente****.*

Debido principalmente a la dificultad de lograr una liga efectiva del material nuevo con el viejo en esas áreas, se presentan tres tipos de juntas constructivas:

a. *Junta longitudinal adyacente a la zona de suelo cemento parcialmente endurecido durante la construcción.*

b. *Junta longitudinal adyacente a la zona de suelo cemento totalmente endurecido durante la construcción.*

c. *Junta transversal de construcción limitada por suelo cemento ya endurecido.*

El material próximo a las juntas deberá de pulverizarse completamente, mezclarse con cemento, humedecerse y compactarse enérgicamente, para mejorar el funcionamiento de las juntas.

Durante la construcción, al final de cada día de trabajo, quedarán pendientes juntas transversales y longitudinales que al comienzo del siguiente día se atacarán. Es común preparar las juntas utilizando las cortadoras de las máquinas.

Finalmente, se dará un riego superficial hasta la saturación a fin de iniciar el curado del material. Estas condiciones de curado deberán mantenerse por 7 días cuando menos.

6. VERIFICACIÔN DE LA SUPERFICIE

Después de compactada la base de suelo cemento a la densidad exigida, la superficie terminada deberá verificarse en lo que respecta a alineamiento y pendiente transversal o corona de la carretera, de acuerdo con la sección transversal típica mostrada en los planos.

La superficie una vez terminada, no deberán tener variaciones mayores de un centímetro (1) en cada tres (3) metros, medidos perpendicular y paralelamente a la línea central de la carretera.

Cualquier sección de la superficie de la base de suelo cemento que no cumpla con los requisitos arriba indicados, deberá ser escarificada, conformada y compactada nuevamente, por el ***Contratista*** *y a sus expensas, hasta obtener la forma y exactitud requeridas.*

7. VERIFICACIÓN DE ESPESORES

El espesor de la base de suelo cemento terminada no deberá tener una diferencia mayor de un (1) centímetro con respecto al espesor indicado en los planos.

Dicho espesor se verificará por medio de sondeos o perforaciones de ensayo realizados durante el proceso constructivo. Después que la base de suelo cemento ha sido compactada a la densidad exigida, el espesor deberá medirse en uno o más puntos, tomados al azar, cada doscientos cincuenta (250) metros cuadrados o su equivalente en metro lineal, según el ancho de la corona, en forma tal que se evite un patrón de distribución regular de los mismos.

Cuando un sondeo señale una variación de espesor mostrado en los planos, mayor que el permisible, se harán sondeos adicionales hasta que los sondeos indiquen que el espesor se encuentra dentro de la tolerancia permisible. Cualquier área cuyos espesores no estén dentro de la tolerancia permisible deberá ser corregida por el contratista, a sus expensas, removiendo o agregando material según sea necesario, conformando y compactando dicha área en la forma indicada en estas especificaciones.

La perforación de los sondeos y de su relleno con material compactado apropiadamente, deberá hacerlos, en todos los casos, el ***Contratista*** *bajo la supervisión del* ***Ingeniero Residente****.*

No se pagará por material en exceso de la cantidad requerida según los planos o en exceso de la ordenada por el ***Ingeniero Residente****.*

8. MEDIDA

La cantidad de base de suelo cemento por la cual se pagará, será él numero de metros cúbicos de base colocada, incluyendo recebo, construida, terminada y aceptada, de acuerdo con los planos y especificaciones, independientemente de la cantidad de material suelto utilizado.

El volumen que se deberá pagar se calculará de acuerdo con las pruebas de espesor o sondeo ordenada por el ***Ingeniero Residente****, a razón de una o más por cada cien (100) metros lineales de base aceptada, determinado por el método de promedio de áreas externas.*

Cuando los sondeos demuestren que la base tiene un espesor menor que el exigido, el área de la sección transversal típica será multiplicada por la relación entre el espesor real y el exigido (espesor real /espesor exigido). El área así reducida, como resultado de este ajuste, será la utilizada para el cálculo del volumen por el método de promedio de áreas externas.

No se consideraran, para los efecto de pago, las cantidades de material de base de suelo cemento colocada en exceso de las indicadas en la sección transversal típica de los planos, con excepción de las ordenadas por el ***Ingeniero Residente****.*

9. PAGO

La cantidad que se pagará por base compactada, será la cifra que resulte de multiplicar el volumen de base terminada y aceptada, determinado como se indica en el Artículo anterior, por el precio unitario fijado en el contrato. Este precio y pago constituirá compensación total por la limpieza inicial y final de las fuentes de origen de los materiales, acondicionamiento o preparación aprobados de la superficie sobre la cual se construirá la base de suelo cemento; diseño de la mezcla; suministro de todos los materiales (incluyendo el porcentaje de cemento a utilizar), acarreos, colocación, mezclado, escarificación, humedecimiento, compactación , curado y por todo equipo, mano de obra, herramientas, incidencias o imprevistos que se requieran o surjan en relación con la construcción de la base de suelo cemento, de acuerdo con los requisitos especificados.

El pago se hará bajo el siguiente detalle únicamente:

a) Base de Suelo Cemento ..... por METRO CÚBICO (M^3).

NORMA ESPAÑOLA

Si es en menos de un diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

512.11 Medición y abono.–Tanto la cal como el cemento empleados en la estabilización in situ de suelos se abonará por toneladas (t) realmente empleadas, obtenidas multiplicando la medición obtenida de suelo estabilizado por la dosificación media deducida del control de dosificación de cada lote.

La ejecución del suelo estabilizado in situ con cal o con cemento se abonará por metros cúbicos (m^3) de material estabilizado, los cuales se obtendrán como producto de la superficie realmente estabilizada, medida sobre el terreno, por el espesor medio de estabilización deducido de los ensayos de control. No serán de abono las creces laterales.

La aplicación del ligante bituminoso para el riego de curado, así como el eventual árido de protección superficial, incluida su extensión y apisonado, se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra.

512.12 Especificaciones técnicas y distintivos de calidad.–El cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias requeridas a los productos contemplados en este artículo se podrá acreditar por medio del correspondiente certificado que, cuando dichas especificaciones estén establecidas exclusivamente por referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo, se reconocerá como tal cuando dicho distintivo esté homologado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio Fomento.

El certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo podrá ser otorgado por las Administraciones Públicas competentes en materia de carreteras, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (según el ámbito) o los Organismos españoles –públicos y privados– autorizados para realizar tareas de certificación o ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales conforme al Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre.

Normas referidas en este artículo

NLT-254	Ensayo de colapso en suelos.
NLT-305	Resistencia a compresión simple de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos.
NLT-310	Compactación con martillo vibrante de materiales granulares tratados.
NLT-326	Ensayo de fatiga en materiales para carreteras (Método del tanque).
NLT-330	Cálculo del índice de regularidad internacional (IRI) en pavimentos de carreteras.
NLT-357	Ensayo de carga con placa.
UNE 41240	Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos. Métodos de ensayo. Determinación del plazo de trabajabilidad.
UNE 103101	Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
UNE 103103	Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.
UNE 103104	Determinación del límite plástico de un suelo.
UNE 103201	Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo.
UNE 103204	Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.
UNE 103300	Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.
UNE 103501	Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.
UNE 103502	Método de ensayo para determinar en laboratorio el índice CBR de un suelo.
UNE 103503	Determinación «in situ» de la densidad de un suelo por el método de la arena.
UNE 103601	Ensayo del hinchamiento libre de un suelo en edómetro.
UNE 146507-1	Ensayos de áridos. Determinación de la reactividad potencial de los áridos. Método químico. Parte 1: determinación de la reactividad álcali-sílice y álcali-silicato.
UNE-EN 196-3	Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.
UNE-EN 459-1	Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.
UNE-EN 933-2	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.

513. **Materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento)**

513.1 Definición.–Se define como material tratado con cemento la mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento, agua y, eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera.

Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
Fabricación de la mezcla en central.
Preparación de la superficie existente.
Transporte y extensión de la mezcla.
Prefisuración (cuando sea necesario).
Compactación y terminación.
Curado y protección superficial.

En este artículo se definen dos tipos de material tratado con cemento denominados, respectivamente, suelocemento (SC40 y SC20) y gravacemento (GC25 y GC20).

513.2 Materiales.–Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE; en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 8.

Independientemente de lo anterior, se estará además en todo caso a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

513.2.1 Cemento.–El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras fijará el tipo y la clase resistente del cemento. Éste cumplirá las prescripciones del artículo 202 de este Pliego y las adicionales que establezca, en su caso, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Salvo justificación en contrario, la clase resistente del cemento será la 32,5N. El Director de las Obras podrá autorizar en épocas frías el empleo de un cemento de clase resistente 42,5N. No se emplearán cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con aditivos que no hayan sido realizadas en fábrica.

Si el contenido ponderal de sulfatos solubles (SO3) en los materiales granulares que se vayan a utilizar, determinado según la UNE 103201, fuera superior al cinco por mil (0,5%) en masa, deberá emplearse un cemento resistente a los sulfatos y aislar adecuadamente estas capas del firme de las obras de paso de hormigón.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el principio de fraguado, según la UNE-EN 196-3, que, en todo caso, no podrá tener lugar antes de las dos horas (2 h). No obstante, si la extensión se realizase con temperatura ambiente superior a treinta grados Celsius (30 °C), el principio de fraguado, determinado con dicha norma, pero realizando los ensayos a una temperatura de cuarenta más menos dos grados Celsius (40 ± 2 °C), no podrá tener lugar antes de una hora (1 h).

513.2.2 Materiales granulares.

513.2.2.1 Características generales.–El material granular que se vaya a utilizar en el suelocemento será una zahorra, natural o obtenida por trituración, o un suelo granular. También se podrán utilizar subproductos o productos inertes de desecho, en cumplimiento del Acuerdo de Consejo de Ministros de 1 de junio de 2001 por el que se aprueba el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006, en cuyo caso sus características y las condiciones para su utilización deberán venir fijadas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. El material granular estará exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

En la gravacemento se utilizará un árido natural procedente de la trituración de piedra de cantera o de grava. También se podrán utilizar productos inertes de desecho o subproductos, en cumplimiento del Acuerdo de Consejo de Ministros de 1 de junio de 2001 por el que se aprueba el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006, en cuyo caso, sus características y las condiciones para su utilización deberán venir fijadas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. El árido se suministrará, al menos, en dos (2) fracciones granulométricas diferenciadas.

El material granular del suelocemento o el árido de la gravacemento no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes del material granular o del árido que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se empleará la NLT-326.

513.2.2.2 Composición química.–No se utilizarán los materiales que presenten una proporción de materia orgánica, según la UNE 103204, superior al uno por ciento (1%).

El contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido (SO_3), referidos al material granular en seco, determinados según la UNE-EN 1744-1, no será superior al uno por ciento (1%) ni a ocho décimas expresadas en términos porcentuales (0,8%).

El material granular o el árido no presentará reactividad potencial con los álcalis del cemento. Con materiales sobre los que no exista suficiente experiencia en su comportamiento en mezclas con cemento, realizado el análisis químico de la concentración de SiO_2 y de la reducción de la alcalinidad R, según la UNE 146507-1, serán considerados potencialmente reactivos si:

$SiO_2 > R$ cuando $R \geq 70$.
$SiO_2 > 35 + 0{,}5R$ cuando $R < 70$.

513.2.2.3 Plasticidad.–El límite líquido del material granular del suelocemento, según la UNE 103103, deberá ser inferior a treinta (30), y su índice de plasticidad, según la UNE 103104, deberá ser inferior a quince (15).

El árido fino para capas de gravacemento, en carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, será no plástico. En los restantes casos se cumplirán las condiciones siguientes:

Límite líquido inferior a veinticinco (LL < 25), según la UNE 103103.
Índice de plasticidad inferior a seis (IP < 6), según la UNE 103104.

513.2.2.4 Características específicas del árido para gravacemento.

513.2.2.4.1 Árido grueso.–Se define como árido grueso a la parte del árido total retenida en el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2.

La proporción de partículas trituradas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5, deberá cumplir lo fijado en la tabla 513.1.

TABLA 513.1

Proporción mínima (% en masa) de partículas trituradas del árido grueso

Tipo de capa	Categoría de tráfico pesado		
	T00 a T1	T2	T3 y T4
Calzada	75	50	30
Arcenes	50	30	

El máximo índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 933-3, será fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, sin que en ningún caso sea superior al indicado en la tabla 513.2.

TABLA 513.2

Valor máximo del índice de lajas del árido grueso

Tipo de capa	Categoría de tráfico pesado	
	T00 a T2	T1 y T4
Calzada	30	35
Arcenes	40	

El máximo valor del coeficiente de Los Ángeles de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2, deberá establecerse en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, sin que en ningún caso sea superior al indicado en la tabla 513.3.

TABLA 513.3

Valor máximo del coeficiente Los Ángeles del árido grueso

Tipo de capa	Categoría de tráfico pesado	
	T00 a T2	T1 y T4
Calzada	30	35
Arcenes	40	

En las categorías de tráfico pesado T1 y T2 con materiales reciclados procedentes de capas de mezclas bituminosas, pavimento de hormigón, materiales tratados con cemento o de demoliciones de hormigones de resistencia a compresión final superior a treinta y cinco meg
apascales (35 MPa), el valor del coeficiente de los Ángeles podrá ser inferior a treinta y cinco (35).

La proporción de terrones de arcilla no excederá del dos y medio por mil (0,25%) en masa, según la UNE 7133.

513.2.2.4.2 Árido fino.–Se define como árido fino a la parte del árido total que pasa por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2.

El equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8, deberá ser superior a cuarenta (40), para la gravacemento tipo GC20, y a treinta y cinco (35) para la gravacemento tipo GC25. De no cumplirse estas condiciones, el valor de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9, deberá ser inferior a diez (10) y, simultáneamente, el equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8, deberá ser superior a treinta (30), para ambos tipos.

La proporción de terrones de arcilla no excederá del uno por ciento (1%) en masa, según la UNE 7133.

513.2.3 Agua.–El agua cumplirá las prescripciones del artículo 280 de este Pliego.

513.2.4 Aditivos.–El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará los aditivos que puedan utilizarse para obtener la trabajabilidad adecuada o mejorar las características de la mezcla, los cuales deberán ser especificados en la fórmula de trabajo y aprobados por el Director de las Obras. Este podrá autorizar el empleo de un retardador de fraguado para ampliar el plazo de trabajabilidad del material, según las condiciones meteorológicas, así como establecer el método que se vaya a emplear para su incorporación y las especificaciones que debe cumplir dicho aditivo y las propiedades de la mezcla tras su incorporación.

El empleo de retardadores de fraguado será obligatorio cuando la temperatura ambiente durante la extensión de la mezcla supere los treinta grados Celsius (30 °C), salvo que el Director de las Obras ordene lo contrario.

Únicamente se autorizará el uso de los aditivos cuyas características y especialmente su comportamiento y los efectos sobre la mezcla al emplearlos en las proporciones previstas, vengan garantizados por el fabricante, siendo obligatorio realizar ensayos previos para comprobar que cumplen su función con los materiales y dosificaciones previstos en la fórmula de trabajo.

513.3 Tipo y composición de la mezcla.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares definirá el tipo y composición del suelocemento y de la gravacemento, cuya granulometría, contenido de cemento y resistencia a compresión simple deberán cumplir lo indicado en este apartado.

La granulometría del material granular empleado en la fabricación del suelocemento deberá ajustarse a uno de los husos definidos en la tabla 513.4.1. El tipo SC20 sólo se podrá emplear en carreteras con categoría de tráfico pesado T3 y T4 y en arcenes.

TABLA 513.4.1

Husos granulométricos del material granular del suelocemento

Tipo de suelocemento	Cernido ponderal acumulado (% en masa). Abertura de los tamices UNE-EN 933-2 (mm)									
	50	40	25	20	12,5	8	4	2	0,500	0,063
SC40	100	80-100	67-100	62-100	53-100	45-80	30-65	17-52	5-37	2-20
SC20	–	–	100	92-100	76-100	63-100	48-100	30-64	18-65	2-35

La granulometría de los áridos empleados en la fabricación de la gravacemento deberá ajustarse a uno de los husos definidos en la tabla 513.4.2. El tipo GC25 sólo se podrá emplear en carreteras con categoría de tráfico pesado T2 y T4 y en arcenes, en sustitución del suelocemento SC40.

TABLA 513.4.2

Husos granulométricos del árido de la gravacemento

Tipo de gravacemento	Cernido ponderal acumulado (% en masa). Abertura de los tamices UNE-EN 933-2 (mm)							
	40	25	20	8	4	2	0,500	0,063
GC25	100	76-100	67-91	38-63	25-48	16-37	6-21	1-7
GC20	–	100	80-100	44-68	28-51	19-39	7-22	1-7

El contenido mínimo de cemento del suelocemento será tal que permita la consecución de las resistencias indicadas en la tabla 513.5. En cualquier caso dicho contenido no será inferior al tres por ciento (3%) en masa, respecto del total del material granular en seco.

El contenido mínimo de cemento de la gravacemento será tal que permita la consecución de las resistencias indicadas en la tabla 513.5. En cualquier caso dicho contenido no será inferior al tres y medio por ciento (3,5%) en masa, respecto del total del árido en seco.

TABLA 513.5

Resistencia media (*) a compresión a siete días (7 d), según la NLT-305, (MPa)

Material	Zona	Mínima	Máxima
Gravacemento.	Calzada	4,5	7,0
	Arcenes	4,5	6,0
Suelocemento.	Calzada y arcenes	2,5	4,5

(*) Por resistencia media se entiende la media aritmética de los resultados obtenidos al menos sobre tres (3) probetas de la misma amasada, definida de acuerdo a lo indicado en el apartado 513.8.2.4.

Las probetas se compactarán según la NLT-310, con la energía que proporcione la densidad seleccionada según el apartado 513.7.4 y curadas con esa energía mayor.

En el caso de emplearse cemento para usos especiales (ESP VI-1) estos valores se disminuirán en un quince por ciento (15%).

El plazo de trabajabilidad de una mezcla con cemento se determinará con arreglo a la UNE 41240, no pudiendo ser inferior al indicado en la tabla 513.6. En el supuesto de la puesta en obra por franjas, el material resultante deberá tener un plazo de trabajabilidad tal que permita compactar la compactación de cada una de ellas antes de que haya finalizado dicho plazo en la franja adyacente ejecutada previamente.

TABLA 513.6

Plazo mínimo de trabajabilidad (t_{trab})

Tipo de ejecución	t_{trab} (minutos)
Anchura completa	180
Por franjas	240

513.4 Equipo necesario para la ejecución de las obras.–Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de transporte en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

No se podrá utilizar en la ejecución de los materiales tratados con cemento ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por el Director de las Obras, después de la ejecución del tramo de prueba.

513.4.1 Central de fabricación.–Se podrán utilizar centrales de mezcla continua o discontinua. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares señalará la producción horaria mínima de la central.

En cualquier caso, la instalación deberá permitir dosificar por separado el material granular o las distintas fracciones de árido, el cemento, el agua y, en su caso, los aditivos, en las proporciones y con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo.

Las tolvas para los materiales granulares deberán tener paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, provistas de una rejilla que permita limitar el tamaño máximo, así como de un rebosadero que evite que un exceso de contenido afecte al funcionamiento del sistema de clasificación. Se dispondrán con una separación suficiente para evitar contaminaciones entre ellas y deberán, asimismo, estar provistas a su salida de dispositivos ajustables de dosificación.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, establecerá si los sistemas de dosificación de los materiales pueden ser volumétricos o han de ser necesariamente ponderales. En cualquier caso, para carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, incluidos los arcenes, los sistemas de dosificación de las fracciones del árido y del cemento serán inexcusablemente ponderales.

En las centrales de fabricación con dosificadores ponderales, éstos deberán ser independientes y disponer al menos uno (1) para el material granular o, en su caso, para cada una de las fracciones del árido de la gravacemento, cuya precisión sea superior al dos por ciento (± 2%), y al menos uno (1) para el cemento, cuya precisión sea superior al uno por ciento (± 1%).

El agua añadida se controlará mediante un caudalímetro, cuya precisión sea superior al dos por ciento (± 2%), y un totalizador con indicador en la cabina de mando de la central.

En el caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la central deberá tener sistemas de almacenamiento y de dosificación independientes de los correspondientes al resto de los materiales, protegidos de la humedad, y un sistema que permita su dosificación de acuerdo con la fórmula de trabajo y las tolerancias establecidas en este artículo.

Los equipos de mezcla deberán ser capaces de asegurar una completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas.

513.4.2 Elementos de transporte.–La mezcla se transportará al lugar de empleo en camiones de caja abierta, lisa y estanca, perfectamente limpia. Deberán disponer de lonas o cobertores adecuados para proteger la mezcla durante su transporte. Por seguridad de la circulación vial será inexcusable el empleo de cobertores para el transporte por carreteras en servicio.

En el caso de utilizarse extendedoras como equipos de extensión, la altura y forma de los camiones será tal que, durante el vertido en la extendedora, el camión sólo toque a aquélla a través de los rodillos previstos al efecto.

Los medios de transporte deberán estar adaptados, en todo momento, al ritmo de ejecución de la obra teniendo en cuenta la capacidad de producción de la central y del equipo de extensión y la distancia entre la central y el tajo de extensión.

513.4.3 Equipo de extensión.–En carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, incluidos los arcenes, se utilizarán extendedoras automotrices, que estarán dotadas de los dispositivos necesarios para extender el material con la configuración deseada, así como de dispositivos automáticos de nivelación.

En el caso de utilizarse extendedoras que no estén provistas de una tolva para la descarga del material desde los camiones, ésta deberá realizarse a través de dispositivos de preextensión (carretones o similares) que garanticen un reparto adecuado del material delante del equipo de extensión.

Se comprobará, en su caso, que los ajustes del enrasador y de la maestra se ajustan a las tolerancias mecánicas especificadas por el fabricante, y que dichos ajustes no han sido afectados por el desgaste.

Las anchuras mínima y máxima de extensión se fijarán en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, por el Director de las Obras. Si al equipo de extensión pudieran acoplarse piezas para aumentar su anchura, éstas deberán quedar perfectamente alineadas con las originales.

513.4.4 Equipo de compactación.–Todos los compactadores deberán ser autopropulsados, tener inversores del sentido de la marcha de acción suave y estar dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos, en caso necesario. La composición del equipo de compactación se determinará en el tramo de prueba, y deberá estar compuesto como mínimo por un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos y un (1) compactador de neumáticos.

El rodillo metálico del compactador vibratorio tendrá una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos newtons por centímetro (300 N/cm) y será capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t) con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos será capaz de alcanzar una masa de al menos treinta y cinco toneladas (35 t) y una carga por rueda de cinco toneladas (5 t), con una presión de inflado que pueda llegar a alcanzar un valor no inferior a ocho décimas de megapascal (0,8 MPa).

Los compactadores de rodillos metálicos no presentarán surcos ni irregularidades en ellos. Los compactadores vibratorios tendrán dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de la marcha. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas de las delanteras con las de las traseras.

El Director de las Obras aprobará el equipo de compactación que se vaya a emplear, su composición y las características de cada uno de sus componentes, que serán las necesarias para conseguir una compacidad adecuada y homogénea de la mezcla con cemento en todo su espesor, sin producir roturas del material granular, o del árido, ni arrollamientos.

A los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se emplearán otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretende realizar. Se utilizarán placas o rodillos vibrantes de características apropiadas para lograr resultados análogos a los obtenidos con el equipo de compactación aprobado.

513.4.5 Equipo para la ejecución de juntas transversales en fresco.–Para la ejecución de las juntas transversales en fresco se utilizarán equipos automotrices que efectúen en cada pasada un surco recto que penetre al menos dos tercios (2/3) del espesor de la capa y que al mismo tiempo introduzca en el un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Este producto podrá consistir en una emulsión bituminosa de rotura rápida, una cinta de plástico flexible, un perfil ondulado de plástico rígido u otros sistemas que además de impedir que se cierre de nuevo la junta durante la compactación, permitan la trasmisión de cargas entre los dos lados de la junta.

El Director de las Obras podrá autorizar en obras pequeñas (menos de 70.000 m^2) la utilización de equipos para la ejecución de juntas transversales en fresco provistos de un útil de corte que penetre al menos un tercio (1/3) del espesor de la capa una vez compactada.

513.5 Ejecución de las obras.

513.5.1 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.

La producción de un material tratado con cemento no se podrá iniciar en tanto que el Director de las Obras no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en el laboratorio y verificada en la central de fabricación y en el tramo de prueba, la cual deberá señalar, como mínimo:

La identificación y proporción (en seco) del material granular o de cada fracción de árido en la alimentación (en masa).

La granulometría del material granular o, en su caso, del árido combinado, por los tamices establecidos en la definición del huso granulométrico dada en el apartado 513.3.

La dosificación en masa o en volumen, según corresponda, de cemento, de agua y, eventualmente, de aditivos.

La densidad máxima y la humedad óptima del Proctor modificado según la UNE 103501.

La densidad mínima a alcanzar.

El plazo de trabajabilidad de la mezcla.

Si la marcha de las obras lo aconseja, el Director de las Obras podrá corregir la fórmula de trabajo, justificándolo debidamente mediante un nuevo estudio y los ensayos oportunos. En todo caso se estudiará y aprobará una nueva fórmula de trabajo si varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla.

Las tolerancias admisibles respecto a la fórmula de trabajo serán las indicadas en la tabla 513.7, teniendo en cuenta que en ningún caso los valores podrán sobrepasar los límites establecidos en el correspondiente huso granulométrico adoptado.

TABLA 513.7

*Tolerancias admisibles respecto de la fórmula de trabajo (*1*)*

Características		Unidad	Tolerancia
Cernido tamices UNE-EN 933-2.	Tamaño máximo.	% sobre la masa total del material.	
	> 4 mm.		0
	≤ 4 mm.		± 6
	0,063 mm (incluido el cemento).		± 3
			± 1,5
Cemento.			± 0,4
Humedad de compactación (agua total).		% respecto de la óptima.	-1,0/+0,5

(*1*) En el understood (incluyendo se refiere las relativas al cemento) y a la hora de la compactación.

513.5.2 Preparación de la superficie existente.–Se comprobarán la regularidad superficial y el estado de la superficie sobre la que se vaya a extender el suelocemento o la gravacemento. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras indicará las medidas necesarias para obtener una regularidad superficial aceptable y, en su caso, para reparar las zonas dañadas.

En época seca y calurosa, y siempre que sea previsible una pérdida de humedad del material extendido, el Director de las Obras podrá ordenar que la superficie de apoyo se riegue ligeramente inmediatamente antes de la extensión, de forma que ésta quede húmeda pero no encharcada, eliminándose las acumulaciones de agua en superficie que hubieran podido formarse.

513.5.3 Fabricación de la mezcla.–En el momento de iniciar la fabricación de la mezcla el material granular o las fracciones del árido estarán acopiados en cantidad suficiente para permitir a la central un trabajo sin interrupciones. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras fijará el volumen mínimo de acopios exigibles en función de las características de la obra y del volumen de mezcla que se vaya a fabricar. En el caso de obras con una superficie de calzada inferior a setenta mil metros cuadrados (70.000 m^2) estará acopiado el cien por cien (100%) del volumen. En obras de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2 o con una superficie de calzada superior a setenta mil metros cuadrados (70.000 m^2) el volumen mínimo a exigir en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares se determinará en función de las características de la obra, con el margen de seguridad necesario, no siendo nunca inferior al correspondiente al treinta por ciento (30%) del total.

La carga de las tolvas se realizará de forma que su contenido esté siempre comprendido entre el cincuenta y el cien por cien (50 a 100%) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán

las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones de los materiales granulares.

La operación de mezcla se realizará mediante dispositivos capaces de asegurar la completa homogeneización de los componentes. El Director de las Obras fijará, a partir de los ensayos iniciales, el tiempo mínimo de amasado.

Se comenzará mezclando los materiales granulares y el cemento, añadiéndose posteriormente el agua y los aditivos, que irán disueltos en aquélla. La cantidad de agua añadida a la mezcla será la necesaria para alcanzar la humedad fijada en la fórmula de trabajo, teniendo en cuenta la existente en el material granular, así como la variación del contenido de agua que se pueda producir por evaporación durante la ejecución de los trabajos. El amasado se proseguirá hasta obtener la completa homogeneización de los componentes de la mezcla, dentro de las tolerancias fijadas.

En las instalaciones de mezcla discontinua, no se volverá a cargar la amasadora sin haber vaciado totalmente su contenido.

513.5.4 Transporte de la mezcla.–En el transporte de los materiales tratados con cemento se tomarán las debidas precauciones para reducir al mínimo la segregación y las variaciones de humedad. Se cubrirá siempre la mezcla con lonas o cobertores adecuados.

513.5.5 Vertido y extensión de la mezcla.–El vertido y la extensión se realizarán tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones. El espesor de la tongada antes de compactar deberá ser tal que, con la compactación, se obtenga el espesor previsto en los Planos con las tolerancias establecidas en este artículo, teniendo en cuenta que, en ningún caso, se permitirá el recrecimiento de espesor en capas delgadas una vez iniciada la compactación.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará la anchura de extensión. Siempre que sea posible el asiento o la gravacemento se extenderá en la anchura completa. En caso contrario, y a menos que el Director de las Obras ordene otra cosa, la extensión comenzará por el borde inferior y se realizará por franjas longitudinales. La anchura de éstas será tal que se realice el menor número de juntas posibles y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características del equipo de extensión y la producción de la central. Únicamente se permitirá la colocación de la mezcla por semianchos contiguos cuando pueda garantizarse que la compactación y terminación de la franja extendida en segundo lugar se haya finalizado antes de haber transcurrido el plazo de trabajabilidad de la primera, a no ser que el Director de las Obras autorice la ejecución de una junta de construcción longitudinal.

513.5.6 Prefisuración.–Se hará una prefisuración de las capas tratadas con cemento en los casos en los que así se señale en la Norma 6.1 IC de Secciones de firme, y siempre que lo indique el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o el Director de las Obras.

Para ello, antes de iniciar la compactación de la capa, se realizarán en ella juntas transversales en fresco. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las Obras establecerá la distancia a la que deben realizarse las juntas transversales en fresco, dependiendo de la categoría de tráfico pesado, de la zona climática y del espesor de las capas que se dispongan por encima. Salvo justificación en contrario, esparación entre juntas estará comprendida entre tres y cuatro metros (3 a 4 m).

Se empleará el equipo y el método de ejecución aprobados y fijados por el Director de las Obras, después de la realización del tramo de prueba.

513.5.7 Compactación y terminación.–La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras, de acuerdo con los resultados del tramo de prueba. Se compactará mientras la mezcla esté dentro de su plazo de trabajabilidad, hasta alcanzar la densidad especificada en el apartado 513.7.1.

La compactación se realizará de manera continua y sistemática. Si la extensión del material se realiza por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior, por lo que se deberá disponer en los bordes de una contención lateral adecuada.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado más cercano al equipo de extensión, los cambios de dirección de los equipos de compactación se realizarán sobre mezcla ya apisonada, y los cambios de sentido se efectuarán con suavidad. Los elementos de compactación deberán estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

En todo momento, y especialmente en tiempo seco y caluroso, o con fuerte viento, deberá mantenerse húmeda la superficie mediante un riego con agua finamente pulverizada.

En una sección transversal cualquiera, la compactación de una franja deberá quedar terminada antes de que haya transcurrido el plazo de trabajabilidad de la adyacente ejecutada previamente.

Una vez terminada la compactación de la capa, no se permitirá su recrecimiento. Sin embargo, y siempre dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla, el Director de las Obras podrá autorizar un reperfilado de las zonas que rebasen la superficie teórica, recompactando posteriormente la zona corregida.

513.5.8 Ejecución de juntas de trabajo.–Se dispondrán juntas de trabajo transversales cuando el proceso constructivo se interrumpa más tiempo que el plazo de trabajabilidad y siempre al final de cada jornada.

Si se trabaja por fracciones de la anchura total se dispondrán juntas de trabajo longitudinales siempre que no sea posible compactar el material de una franja dentro del plazo máximo de trabajabilidad del material de la franja adyacente puesto en obra con anterioridad, lo cual debe ser evitado en la medida de lo posible.

Las juntas de trabajo se realizarán de forma que su borde quede perfectamente vertical, aplicando a dicho borde el tratamiento que ordene el Director de las Obras.

513.5.9 Curado y protección superficial.–Una vez terminada la capa se procederá a la aplicación de un riego con una emulsión bituminosa, del tipo y en la cantidad que figuren en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o que, en su defecto, señale el Director de las Obras, de acuerdo con lo indicado en el artículo 532 de este Pliego.

Esta operación se efectuará inmediatamente después de acabada la compactación, y en ningún caso después de transcurrir tres horas (3 h) desde la terminación, manteniéndose hasta entonces la superficie en estado húmedo.

Se prohibirá la circulación de todo tipo de vehículos sobre las capas recién ejecutadas, al menos durante los tres días (3 d) siguientes a su terminación, y durante siete días (7 d) a los vehículos pesados.

En el caso de que se vaya a circular por encima de la capa de asentamiento o de gravacemento antes de la ejecución de la capa superior, deberá protegerse el riego de curado extendiendo un árido de cobertura, que cumplirá lo especificado en el artículo 532 de este Pliego. Tras su extensión se procederá al apisonado con un compactador de neumáticos y, previamente a la apertura al tráfico, se barrerá para eliminar el árido sobrante.

El Director de las Obras fijará, dependiendo de los tipos, ritmos y programas de trabajo, el plazo para la extensión de la capa superior, que deberá ser el máximo posible. En ningún caso será inferior a siete días (7 d).

513.6 Tramo de prueba.–Antes de iniciarse la puesta en obra de los materiales tratados con cemento será preceptiva la realización del correspondiente tramo de prueba que se realizará con el espesor previsto y la fórmula de trabajo estudiada y empleando los mismos medios que se vayan a utilizar luego por el Contratista para la ejecución de las obras, para comprobar la fórmula de trabajo, los equipos necesarios para la ejecución de las obras y, especialmente, la forma de actuación del equipo de compactación. Asimismo, se verificará, mediante toma de muestras, la conformidad del material con las condiciones especificadas sobre humedad, espesor de la capa, granulometría, contenido de cemento y demás requisitos exigidos.

Durante la ejecución del tramo de prueba se analizará la correspondencia, en su caso, entre los métodos de control de la humedad y densidad in situ, establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas, y otros sistemas rápidos de control.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará la longitud del tramo de prueba, que no será inferior a cien metros (100 m). El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

A la vista de los resultados obtenidos, el Director de las Obras definirá:

Si es aceptable o no la fórmula de trabajo; en el primer caso se podrá iniciar la fabricación del material tratado con cemento. En el segundo deberá proponer las actuaciones a seguir (estudio de una nueva fórmula, corrección parcial de la ensayada, correcciones en la central de fabricación, y en los sistemas de extensión, etc.).

Si son aceptables o no los equipos propuestos por el Contratista; en el primer caso, aprobará su forma específica de actuación. En el segundo, el Contratista deberá proponer nuevos equipos o incorporar otros complementarios.

513.7 Especificaciones de la unidad terminada.

513.7.1 Densidad.–El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará la densidad de la capa tras el proceso de compactación, la cual no deberá ser inferior al noventa y ocho por ciento (98%) de la densidad máxima Proctor modificado, según la UNE 103501, definida en la fórmula de trabajo.

513.7.2 Resistencia mecánica.–La resistencia a compresión simple a siete días (7 d), según la NLT-305, deberá estar comprendida entre los límites especificados en el apartado 513.3.

513.7.3 Terminación, rasante, anchura y espesor.–La superficie de la capa terminada deberá presentar una textura uniforme, exenta de segregaciones y ondulaciones, y con las pendientes adecuadas. La rasante no deberá superar a la teórica en ningún punto, ni quedar por debajo de ella en más de quince milímetros (15 mm). El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o el Director de las Obras, podrán modificar el límite anterior.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa extendida, que en ningún caso deberá ser inferior, ni superior, en más de diez centímetros (10 cm) a la establecida en los Planos de secciones tipo.

El espesor de la capa no deberá ser inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo.

513.7.4 Regularidad superficial.–El Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, de la capa terminada deberá cumplir lo fijado en la tabla 513.8, en función de su posición relativa bajo las capas de mezclas bituminosas y de la categoría de tráfico pesado.

TABLA 513.8

Índice de regularidad internacional (IRI) (dm/hm)

Porcentaje de terminados	Categoría de tráfico pesado y posición relativa de la capa		
	T00 a T2		
	1.ª capa bajo mezclas bituminosas	2.ª capa bajo mezclas bituminosas	T2 T3 y arcenes
50	< 2,5	< 3,0	< 3,0
80	< 3,0	< 3,5	< 3,5
100	< 3,5	< 4,0	< 4,0

513.8 Limitaciones de la ejecución.–Salvo autorización expresa del Director de las Obras, no se permitirá la ejecución de materiales tratados con cemento:

Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea superior a los treinta y cinco grados Celsius (35 °C).

Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C) y exista previsión de heladas. El Director de las obras podrá bajar este límite a la vista de los resultados de compactación y consecución de resistencias en obra.

Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas inusuales.

513.9 Control de calidad.–El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará, para cada caso, el método de control, el tamaño del lote y el tipo y el número de ensayos a realizar. También se establecerán los métodos rápidos de control que pueden utilizarse y las condiciones básicas de empleo.

La realización de los ensayos in situ y la toma de muestras se realizará en [illegible] previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto [illegible] ido longitudinal como transversal, de tal forma que haya al menos una toma o ensayo por cada hectómetro (1/hm).

513.9.1 Control de procedencia de los materiales.

513.9.1.1 Cemento.–Se seguirán las prescripciones del artículo 202 de este Pliego.

513.9.1.2 Materiales granulares.–De cada procedencia del material granular para la fabricación de suelocemento y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán cuatro (4) muestras, según la UNE-EN 932-1, y de cada una de ellas se determinará:

El límite líquido y el índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.

El contenido de materia orgánica, según la UNE 103204.

El contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido, según la UNE-EN 1744-1.

La granulometría del material granular, según la UNE-EN 933-1.

Si con el árido para la fabricación de la gravacemento se aportara certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo o estuviese en posesión de una marca, sello o distintivo de calidad homologado, según lo indicado en el apartado 513.12, los criterios descritos a continuación para realizar el control de procedencia del árido para la gravacemento no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

En el supuesto de no cumplirse las condiciones indicadas en el párrafo anterior, de cada procedencia del árido de la gravacemento y para cualquier volumen de producción previsto, se tomarán cuatro (4) muestras, según la UNE-EN 932-1, y de cada una de ellas se determinará:

El coeficiente de Los Ángeles del árido grueso, según la UNE-EN 1097-2.

Índice de lajas, según la UNE-EN 933-3.

Proporción de partículas trituradas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5.

El contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido, según la UNE-EN 1744-1.

La granulometría de cada fracción, según la UNE-EN 933-1.

El Director de las Obras podrá ordenar la realización de los siguientes ensayos adicionales sobre los áridos de la gravacemento:

Proporción de terrones de arcilla del árido grueso y del árido fino, según la UNE 7133.

Equivalente de arena del árido fino, según la UNE-EN 933-8, y, en su caso, de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.

Límite líquido y el índice de plasticidad del árido fino, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.

513.9.2 Control de ejecución.

513.9.2.1 Fabricación.–Se examinará la descarga al acopio o la alimentación de la central de fabricación, desechando los materiales granulares que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo aprobado en la fórmula de trabajo. Se acopiarán aparte los que presenten alguna anomalía de aspectos tales como distinta coloración, segregación, plasticidad, etc., hasta la decisión de su aceptación o rechazo.

Se vigilará la altura de los acopios y el estado de sus elementos separadores y de los accesos.

Con el material granular del suelocemento o con cada fracción granulométrica del árido de la gravacemento que se produzca o reciba, se realizarán los siguientes ensayos:

Por cada mil metros cúbicos (1.000 m^3) de materiales granulares o cada día si se emplea menos material, sobre un mínimo de dos (2) muestras, una por la mañana y otra por la tarde:

Granulometría por tamizado, según la UNE-EN 933-1, para cada fracción del árido de la gravacemento.

Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente, con el material granular del suelocemento.

Equivalente de arena del árido fino de la gravacemento, según la UNE-EN 933-8, y, en su caso, azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.

Por cada cinco mil metros cúbicos (5.000 m^3) de áridos de la gravacemento o una (1) vez a la semana si se emplea menos material:

El índice de lajas del árido grueso, según la UNE-EN 933-3.

Límite líquido e índice de plasticidad del árido fino, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.

Proporción de partículas trituradas del árido grueso, según la UNE-EN 933-5.

Al menos una (1) vez al mes o siempre que se cambie de procedencia:

Contenido de materia orgánica, según la UNE 103204, del material granular.

Contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido, según la UNE-EN 1744-1, del material granular.

Coeficiente de Los Ángeles del árido grueso de la gravacemento, según la UNE-EN 1097-2.

Proporción de terrones de arcilla del árido grueso y del árido fino de la gravacemento, según la UNE 7133.

Asimismo se tomará un mínimo de dos (2) veces al día (mañana y tarde), según la UNE-EN 933-1, al menos una (1) muestra representativa de la mezcla de componentes en seco, y se determinará su granulometría según la UNE-EN 933-1.

En las instalaciones de fabricación con mezclador de flujo ininterrumpido continuo se calibrará diariamente el flujo de la cinta suministradora de materiales en seco, deteniéndola cargada, recogiendo y pesando el material existente en una longitud elegida. Al menos una (1) vez cada quince días (15 d) se verificará, en su caso, la precisión de las básculas de dosificación mediante un conjunto adecuado de pesas patrón.

A la salida del mezclador se controlará el aspecto de la mezcla en cada elemento de transporte, rechazándose todas las mezclas segregadas y aquellas cuya envuelta no sea homogénea.

Al menos una (1) vez por lote se determinará la humedad del material tratado, según la UNE 103300, y en todo caso se llevará a cabo este control dos (2) veces al día, una por la mañana y otra por la tarde. Asimismo, se llevará un control del consumo medio de cemento.

Se tomarán muestras a la descarga del mezclador con las que se fabricarán probetas para la comprobación de su resistencia a compresión, que se conservarán según las condiciones previstas en la UNE 83301. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, fijará el número de amasadas diferentes que se deben controlar, así como el número de probetas por amasada que haya que fabricar.

En carreteras con categoría de tráfico pesado T00 y T0, se controlarán por cada lote como mínimo tres (3) amasadas diferentes, valor que se podrá reducir a dos (2) en los restantes casos. El número de probetas confeccionadas de cada amasada no será inferior a tres (3).

En el caso de centrales discontinuas se considerará como amasada cada una de las descargas de la mezcladora, mientras que en centrales continuas será el producto resultante de tres (3) descargas seguidas de la mezcladora.

Para la fabricación de probetas se utilizará el método indicado en la NLT-310, si bien las probetas deberán compactarse hasta alcanzar una densidad seca no superior a la máxima exigida en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. Dichas probetas se ensayarán a la edad de siete días (7 d), según la NLT-305.

513.9.2.2 Puesta en obra.

513.9.2.2.1 Vertido y extensión.–Antes de verter la mezcla, se comprobará su humogeneidad, rechazándose todo el material seco o segregado.

Se comprobará continuamente el espesor extendido mediante un pasador graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras, siendo en cuenta la disminución que sufrirá al compactarse el material.

513.9.2.2.2 Compactación.–Se comprobará la composición y forma de actuación del equipo de compactación, verificando:

Que el número y el tipo de compactadores son los aprobados.

El funcionamiento de los dispositivos de humectación y de limpieza.

El lastre y la masa total de los compactadores y, en su caso, la presión de inflado de las ruedas de los compactadores de neumáticos.

La frecuencia y la amplitud de los compactadores vibratorios.

El número de pasadas de cada compactador.

Se efectuarán mediciones de la densidad y de la humedad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) medidas por cada lote definido en el apartado 513.9.3. Para la realización de estos ensayos se podrán utilizar métodos rápidos no destructivos, siempre que, mediante ensayos previos, se haya determinado una correspondencia razonable entre estos métodos y los definidos en la UNE 103503. Sin perjuicio de lo anterior, será preceptivo que la calibración y contraste de estos equipos con los ensayos UNE 103300 y UNE 103503 se realice periódicamente durante la ejecución de las obras, en plazos no inferiores a quince días (15 d) ni superiores a treinta (30).

513.9.2.2.3 Curado y protección superficial.–Se controlará que la superficie de la capa permanezca constantemente húmeda hasta la extensión del producto de curado, pero sin que se produzcan encharcamientos.

Se realizará un (1) control diario, como mínimo, de la dotación de emulsión bituminosa empleada en el riego de curado, y, en su caso, del árido de cobertura, de acuerdo con lo especificado en el artículo 532 de este Pliego.

513.9.3 Control de recepción de la unidad terminada.–Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los tres criterios siguientes:

Quinientos metros (500 m) de calzada.

Tres mil quinientos metros cuadrados (3.500 m^2) de calzada.

La fracción construida diariamente.

El espesor de la capa se comprobará mediante la extracción de testigos cilíndricos en emplazamientos aleatorios, en número no inferior al establecido por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, por el Director de las Obras. El número mínimo de testigos por lote será de dos (2), aumentándose hasta cinco (5) si el espesor de alguno de los dos (2) primeros fuera inferior al prescrito. Los orificios producidos se rellenarán con material de la misma calidad que el utilizado en el resto de la capa, el cual será correctamente extendido y compactado.

La regularidad superficial de la capa ejecutada se comprobará mediante el Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, que deberá cumplir lo especificado en el apartado 513.7.4.

Se comparará la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles transversales cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del Proyecto. En todos los acuerdos perfiles se comprobará que la superficie extendida y compactada presenta un aspecto uniforme, así como una ausencia de segregaciones. Se verificará también la anchura de la capa.

513.10 Criterios de aceptación o rechazo.

513.10.1 Densidad.–Las densidades medias obtenidas in situ en el lote no deberán ser inferiores a las especificadas en el apartado 513.7.1, no más de dos (2) individuos de la muestra podrán arrojar resultados de hasta dos (2) puntos porcentuales por debajo de la densidad exigida. En los puntos que no cumplan lo anterior se realizarán ensayos de resistencia mecánica sobre testigos aplicándose los criterios establecidos en el apartado 513.10.2.

513.10.2 Resistencia mecánica.–La resistencia media de un lote a una determinada edad, se determinará como media de las resistencias de las probetas fabricadas de acuerdo con lo indicado en el apartado 513.9.2.1. Si la resistencia media de las probetas del lote a los siete días (7 d) fuera superior a la mínima e inferior a la máxima de las referenciadas, se aceptará el lote.

Si la resistencia media fuera superior a la máxima deberán realizarse juntas de contracción por serrado a una distancia no superior a la indicada en el apartado 513.5.6 y de forma que no queden a menos de dos metros y medio (2,5 m) de posibles grietas de retracción que se hayan podido formar.

Si la resistencia media fuera inferior a la mínima exigida, pero no a su noventa por ciento (90%), el Contratista podrá elegir entre aceptar las sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o solicitar la realización de ensayos de información. Si fuera inferior al noventa por ciento (90%) de la mínima exigida el Contratista podrá elegir entre demoler el lote o esperar a los resultados de los ensayos de resistencia sobre testigos.

Los ensayos de información para la evaluación de la resistencia mecánica del lote no conforme se realizarán, en su caso, comparando los resultados de ensayos a compresión simple de testigos extraídos de ese lote con los de extraídos de un lote aceptado. Éste deberá estar lo más próximo posible y con unas condiciones de puesta en obra similares a las del lote no conforme.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el número de testigos a extraer en cada uno de los lotes (aceptado y no conforme), que en ningún caso deberá ser inferior a cuatro (4). La edad de rotura de los testigos, que será la misma para ambos lotes, será fijada por el Director de las Obras.

El valor medio de los resultados de los testigos del lote no conforme se comprobará con el valor medio de los extraídos en el lote aceptado.

Si no fuera inferior, el lote se podrá aceptar.

Si fuera inferior a él pero no a su noventa por ciento (90%), se aplicará al lote las sanciones previstas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Si fuera inferior a su noventa por ciento (90%) pero no a su ochenta por ciento (80%), el Director de las Obras podrá aplicar las sanciones previstas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o bien ordenar la demolición del lote y su reconstrucción, por cuenta del Contratista.

Si fuera inferior a su ochenta por ciento (80%), se demolerá el lote y se reconstruirá, por cuenta del Contratista.

Si no se cumple alguna de las condiciones indicadas se rechazará el lote, que será demolido, y su producto trasladado a vertedero o empleado como indique el Director de las Obras.

513.10.3 Espesor.–El espesor medio obtenido no deberá ser inferior al especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en los Planos de secciones tipo. No más de dos (2) individuos de la muestra ensayada del lote presentarán resultados que bajen del especificado en un diez por ciento (10%).

Si el espesor medio obtenido fuera inferior al ochenta y cinco por ciento (85%) del especificado, se demolerá la capa correspondiente al lote controlado y se repondrá, por cuenta del Contratista. Si el espesor medio obtenido fuera superior al ochenta y cinco por ciento (85%) del especificado, se compensará la diferencia con un espesor adicional equivalente de la capa superior aplicado en toda la anchura de la sección tipo, por cuenta del Contratista.

No se permitirá en ningún caso el recrecimiento en capa delgada.

513.10.4 Rasante.–Las diferencias de cota entre la superficie obtenida y la teórica establecida en los Planos del Proyecto no excederán de las tolerancias especificadas, ni existirán zonas que retengan agua. Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharc-

camiento, el Director de las Obras podrá aceptar la superficie siempre que la capa superior a ella compense la merma con el espesor adicional necesario sin incremento de coste para la Administración. Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, se corregirá mediante fresado por cuenta del Contratista, siempre que no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los Planos.

513.10.5 Regularidad superficial.—Los resultados de la medida de la regularidad superficial de la capa acabada no excederán de los límites establecidos en el apartado 513.7.4. Si se sobrepasaran dichos límites, se procederá de la siguiente manera:

Si es en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado, se corregirán los defectos mediante fresado por cuenta del Contratista, teniendo en cuenta todo lo especificado en el apartado 513.10.3.

Si es en menos de un diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado, se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

513.11 Medición y abono.—La preparación de la superficie existente se considerará incluida en la unidad de obra correspondiente a la construcción de la capa subyacente y, por tanto, no habrá lugar a su abono por separado. Sin embargo, cuando dicha construcción no se haya realizado bajo el mismo contrato, la preparación de la superficie existente se abonará por metros cuadrados (m^2), medidos en el terreno.

El cemento se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, medidas por pesada directa en báscula debidamente contrastada.

La ejecución de los materiales tratados con cemento, incluida la ejecución de juntas en fresco, se abonará por metros cúbicos (m^3) realmente fabricados y puestos en obra, medidos en los Planos de secciones tipo. El abono del árido y del agua empleados en la mezcla con cemento se considerará incluido en el de la ejecución.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá fijar un único abono de la gravacemento o del suelocemento, en el que se incluyan todas las operaciones y todos los componentes, incluso el cemento.

La aplicación del ligante bituminoso para el riego curado se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra, medidas antes de su empleo. El árido de cobertura superficial, incluida su extensión y apisonado, se abonará por toneladas (t) realmente empleadas en obra.

513.12 Especificaciones técnicas y distintivos de calidad.—El cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias requeridas a los productos contemplados en este artículo, se podrá acreditar por medio del correspondiente certificado que, cuando dichas especificaciones estén establecidas exclusivamente por referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo, se reconocerá como tal cuando dicho distintivo esté homologado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo podrá ser otorgado por las Administraciones Públicas competentes en materia de carreteras, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (según el ámbito) o los Organismos españoles públicos y privados autorizados para realizar tareas de certificación y ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales, conforme al Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre.

Normas referidas en este artículo

NLT-305	Resistencia a compresión simple de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos.
NLT-310	Compactación con martillo vibrante de materiales granulares tratados.
NLT-326	Ensayo de lixiviación en materiales para carreteras (Método del tanque).
NLT-330	Cálculo del índice de regularidad internacional (IRI) en pavimentos de carreteras.
UNE 7133	Determinación de terrones de arcilla en áridos para la fabricación de morteros y hormigones.
UNE 41240	Materiales tratados con conglomerantes hidráulicos. Métodos de ensayo. Determinación del plazo de trabajabilidad.
UNE 83301	Ensayos de hormigón. Fabricación y conservación de probetas.
UNE 103103	Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.
UNE 103104	Determinación del límite plástico de un suelo.
UNE 103201	Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo.
UNE 103204	Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.
UNE 103300	Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.
UNE 103501	Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.
UNE 103503	Determinación «in situ» de la densidad de un suelo por el método de la arena.
UNE 146507-1	Ensayos de áridos. Determinación de la reactividad potencial de los áridos. Método químico. Parte 1: Determinación de la reactividad álcali-sílice y álcali-silicato.
UNE-EN 196-3	Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen.
UNE-EN 932-1	Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.
UNE-EN 933-1	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.
UNE-EN 933-2	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.
UNE-EN 933-3	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.
UNE-EN 933-5	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas de árido grueso.
UNE-EN 933-8	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 8: Evaluación de los finos. Ensayo del equivalente de arena.
UNE-EN 933-9	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo azul de metileno.
UNE-EN 1097-2	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.
UNE-EN 1744-1	Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: Análisis químico.

530. Riegos de imprimación

530.1 Definición.—Se define como riego de imprimación la aplicación de un ligante hidrocarbonado sobre una capa granular, previa a la colocación sobre ésta de una capa o de un tratamiento bituminoso.

530.2 Materiales.—Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/1992 (modificado por el Real Decreto 1328/1995), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE, y en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

Independientemente de lo anterior, se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

530.2.1 Ligante hidrocarbonado.—El tipo de ligante hidrocarbonado a emplear vendrá fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y, salvo justificación en contrario, deberá estar incluido entre los que a continuación se indican:

FM100 del artículo 212, «Betún fluidificado para riegos de imprimación» de este Pliego.

EAL ECI, EAL-1 o ECL-1 del artículo 213, «Emulsiones bituminosas» de este Pliego, siempre que en el tramo de prueba se muestre su idoneidad y compatibilidad con el material granular a imprimar.

530.2.2 Árido de cobertura.

530.2.2.1 Condiciones generales.—El árido de cobertura a emplear eventualmente, en riegos de imprimación será arena natural, arena de machaqueo o una mezcla de ambas.

530.2.2.2 Granulometría.—La totalidad del árido deberá pasar por el tamiz 4 mm de la UNE-EN 933-2, y no contener más de un quince por