



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**REDUCCIÓN DE TIEMPOS EN MANTENIMIENTO VIAL DE LAS VÍAS
DE TERCER ORDEN DEL CANTÓN RIOBAMBA MEDIANTE
ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE**

AUTOR:

Jara Páez Edwin Andrés

TUTOR:

MgSc. Carlos Sebastián Saldaña García

Riobamba, Ecuador. 2024

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Edwin Andrés Jara Páez, con cédula de ciudadanía 060506060-7, autor del trabajo de investigación titulado: Reducción de tiempos en mantenimiento vial de las vías de tercer orden del cantón Riobamba mediante estabilización de subrasante, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 29 de febrero de 2024.



Edwin Andrés Jara Páez

C.I: 060506060-7

Dictamen favorable del tutor y miembros de Tribunal;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Reducción en tiempos de mantenimiento vial de las vías de tercer orden del cantón Riobamba, presentado por Edwin Andrés Jara Páez, con cédula de identidad número 060506060-7, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a 29 de febrero de 2024.

Mgs. Diego Barahona
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Vladimír Pazmiño
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Víctor Velázquez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Carlos Saldaña García
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Reducción de tiempos en mantenimiento vial de las vías de tercer orden del cantón Riobamba mediante estabilización de subrasante, presentado por Edwin Andrés Jara Páez con cédula de identidad número 060506060-7, bajo la tutoría de Mgs. Carlos Sebastián Saldaña García; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a 29 de febrero de 2024

Presidente del Tribunal de Grado
Mgs. Diego Barahona

Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Vladimir Pazmiño

Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Víctor Velásquez

Firma



CERTIFICACIÓN

Que, JARA PÁEZ EDWIN ANDRÉS con CC: 0605060607, estudiante de la Carrera de ingeniería civil, **NO VIGENTE**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "REDUCCIÓN DE TIEMPOS EN MANTENIMIENTO VIAL DE LAS VÍAS DE TERCER ORDEN DEL CANTÓN RIOBAMBA MEDIANTE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE", cumple con el 2%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio turnitin porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 28 de febrero de 2024

Mgs. Carlos Saldaña,
TUTOR(A) TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a mis padres Celia y Edwin, ya que han sido base fundamental para mi desarrollo académico y personal, aportando con el ejemplo y con palabras de aliento en los momentos difíciles, inyectando la motivación necesaria para seguir adelante.

A mi familia en general, que siempre han estado pendientes de mi avance personal y académico.

A mi pareja actual Cristina que gracias a su ayuda, comprensión y cariño hicieron posible el avance eficiente del proyecto.

Edwin Andrés Jara Páez

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios por permitirme avanzar en mi vida profesional, a la Universidad Nacional de Chimborazo por acogerme dentro de sus instalaciones de manera segura y en condiciones óptimas para el desarrollo como estudiante.

Agradezco a todos los docentes que gracias a sus esfuerzos, enseñanzas, consejos y trabajo hicieron de aprender, una experiencia enriquecedora y satisfactoria a lo largo de todos los semestres.

Agradezco también a todos los amigos y compañeros, por las risas, vivencias y por todo el sacrificio que juntos sobrellevamos para conseguir una meta.

A mi tutor de tesis que gracias a su guía, paciencia y experiencia sobre el tema sirvieron para el correcto desarrollo del mismo.

INDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA
DICTAMEN FAVORABLE
CERTIFICADO ANTIPLAGIO
DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
RESUMEN
ABSTRACT

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Planteamiento del Problema	17
1.3 Justificación	18
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 General.....	19
1.4.2 Específicos	19
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Estado del arte.....	20
2.2 Suelo	21
2.2.1 Definición.....	21
2.2.2 Clasificación de los Suelos.....	22
2.2.3 Clasificación AASHTO	22
2.2.4 Clasificación SUCS.....	23
2.3 Propiedades de los suelos	24
2.3.1 Granulometría.....	24
2.3.2 Límites de Atterberg.....	24
2.3.3 Contenido de humedad.....	25
2.3.4 Densidad.....	25
2.3.5 Densidad máxima y humedad óptima	25
2.3.6 Capacidad portante.....	25
2.4 Infraestructura vial	25
2.5 Estructura de la vía	26
2.6 Subrasante	26

2.6.1 Aspectos importantes de una subrasante	26
2.6.2 Características que deben cumplir los suelos para conformar una subrasante.	27
2.7 Geología local de la vía	28
2.8 Propiedades del cemento Portland.....	28
2.9 Ensayo de medición de rigidez por el método GEOGAUGE.....	28
2.10 Ensayo de laboratorio California Bearing Ratio (CBR).....	29
2.11 Estabilización de subrasante con cemento.....	29
2.11.1 Suelos aptos para estabilizarse con cemento.....	30
2.11.2 Dosificación del cemento.....	30
2.12 Ventajas del suelo estabilizado con cemento.....	31
2.13 Desventajas del suelo estabilizado con cemento	31
2.14 Mantenimiento periódico.....	31
2.15 Mantenimiento rutinario	31
CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	32
3.1 Tipo de investigación.....	32
3.2 Diseño de investigación	32
3.3 Técnicas de recolección de datos.....	32
3.4 Población de estudio y tamaño de la muestra	33
3.4.1 Población de estudio.....	33
3.4.2 Muestra.....	33
3.5 Hipótesis	34
3.6 Métodos de análisis y procesamiento de datos	34
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1 Resultados.....	36
4.1.1 Geología local	36
4.1.2 Datos de CBR de la vía	36
4.1.3 Clasificación del suelo que conforma la subrasante de la vía Pungalá-Alao.....	38
4.1.4 Proctor modificado.....	39
4.1.5 Ensayo de CBR	40
4.1.6 Ensayo CBR con adición de cemento portland.....	41

4.1.7 Espesor de la capa a estabilizar.....	42
4.1.8 Costo del mantenimiento vial.....	44
4.1.9 Optimización de tiempos en mantenimiento vial.....	45
4.2 Discusión	47
4.2.1 Porcentaje de cemento necesario.....	47
4.2.2 Costo de mantenimiento.....	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	49
5.1 Conclusiones.....	49
5.2 Recomendaciones	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Sistema de Clasificación AASHTO	22
Tabla 2	Sistema Unificado de Clasificación (SUCS).....	23
Tabla 3	Categorías de subrasante en función de su índice CBR	27
Tabla 4	Ensayos necesarios a realizar según NEVI-12	33
Tabla 5	Clasificación de los suelos obtenidos de las calicatas.	38
Tabla 6	Ensayo CBR para cada tipo de suelo natural.....	40
Tabla 7	Diseño 1 con similar porcentaje de cemento para todos los suelos.....	43
Tabla 8	Diseño 2 con distinto porcentaje de cemento para todos los suelos.....	43
Tabla 9	Costo unitario por kilómetro de vía de estabilización con cemento.....	44
Tabla 10	Costo de la estabilización con similar porcentaje de cemento	44
Tabla 11	Costo de la estabilización con similar porcentaje de cemento	45
Tabla 12	Costo unitario por kilómetro lastrado.....	45
Tabla 13	Mantenimientos al año de lastrado	46
Tabla 14	Costo del lastrado de la vía.....	46
Tabla 15	Diferencia de inversión entre una vía lastrada vs una estabilizada con cemento.....	47
Tabla 16	Resumen de las características mecánicas de los suelos	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Límites de Atterberg (Das, 2013)	24
Figura 2	Gráfica de ensayo para determinación de CBR Fuente: (Botía Díaz et al., 2015).....	29
Figura 3	Diagrama de flujo de la metodología.....	32
Figura 4	Mapa Geológico de la vía Pungalá-Alao.	36
Figura 5	Módulo resiliente en base a transmutación de los datos obtenidos por el Geogauge.	37
Figura 6	Comparación de valores CBR mediante fórmulas empíricas.	37
Figura 7	Mapeo de la vía en conformidad al Módulo resiliente y CBR utilizando el Geogauge.	38
Figura 8	Densidad seca Máxima de cada tipo de suelo.....	39
Figura 9	Humedad óptima necesaria para la compactación.	40
Figura 10	CBR del suelo natural al 100% y 95% de la densidad seca máxima.	41
Figura 11	Porcentaje de hinchamiento de las muestras sumergidas 96 horas.....	41
Figura 12	Resultados del ensayo CBR de suelos estabilizados con cemento	42
Figura 13	Resultados CBR de suelos estabilizados con cemento al 95% de la densidad seca máxima.	42

Figura 14 Espesor de la capa estabilizada para el diseño 1	43
Figura 15 Espesores de las capas estabilizada para el diseño 2.	43
Figura 16 Comparativa temporal entre la inversión de una vía lastrada vs una estabilizada con cemento.....	46

RESUMEN

En el presente documento se hace mención de la necesidad de mantener las vías de tercer orden en óptimas condiciones de servicio, ya que son clave fundamental para el desarrollo de una región y, en las condiciones actuales del país, se busca no solo alternativas constructivas que cumplan con los parámetros necesarios de servicio sino también que economicen las intervenciones, para lo cual se ha hecho necesario el estudio de la vía Pungalá-Alao ya que pertenece a los sectores donde más afectadas se ven las vías del cantón. Esta vía consta de 4 tipos de suelo, mismos de donde se obtendrán los datos para su debida caracterización física y mecánica mediante estudios de granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR. Luego se procede a mejorar las características físicas de cada suelo identificado mediante la estabilización con cemento en porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8%, se comprueba la mejora con un ensayo CBR para los suelos estabilizados obteniéndose resultados favorables, para después realizar un diseño de subrasante según el método NAASRA con los contenidos óptimos de cemento que mejoren y economicen las intervenciones de mantenimiento recomendando usar para el suelo tipo 1 una adición de 3% de cemento obteniendo un CBR de 44,45%, para el suelo tipo 2 una adición de 2% de cemento obteniendo un CBR de 50,03%, para el suelo tipo 3 una adición de 4% de cemento obteniendo un CBR de 33,48% y para el suelo tipo 4 una adición de 2% de cemento obteniendo un CBR de 35,01%. Para establecer una comparativa con un método convencional, se lo compara con el lastrado, donde se obtiene que, para un periodo de diseño de 5 años, el lastrado necesita de una inversión de \$ 821,618.88 dólares en 9 intervenciones vs los \$ 356,145.91 dólares en 2 intervenciones que necesita el estabilizado, generándose un ahorro del 57% de inversión y la reducción de 7 intervenciones.

ABSTRACT

The document underscores the importance of maintaining third-order roads in optimal conditions for regional development. In light of current national circumstances, the focus is on finding constructive alternatives meeting service parameters while economizing interventions. The study of the Pungalá-Alao Road, located in a heavily impacted sector of the canton, becomes imperative. This road encompasses four soil types characterized by particle size distribution, Atterberg limits, modified Proctor, and CBR studies. Stabilization with cement at varying percentages (2%, 4%, 6%, and 8%) enhances the physical characteristics of identified soils, confirmed by favorable CBR results. Utilizing the NAASRA method, a subgrade design with optimal cement contents is conducted to improve and economize maintenance interventions. Recommendations include a 3% cement addition for soil type 1 (CBR: 44.45%), 2% for soil type 2 (CBR: 50.03%), 4% for soil type 3 (CBR: 33.48%), and 2% for soil type 4 (CBR: 35.01%). Compared with conventional graveling, over a 5-year design period, stabilized soil demands \$356,145.91 in two interventions, presenting a 57% cost saving and reducing interventions by seven, as opposed to graveling's \$821,618.88 investment in nine interventions.



Reviewed by:
Mgs. Maria Fernanda Ponce
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603818188

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Actualmente, el país atraviesa una notable recesión en el desarrollo social y económico, lo que destaca la búsqueda de alternativas que impulsen su desarrollo. En este contexto, se busca aprovechar los recursos humanos y naturales locales, facilitando la comunicación entre los diferentes asentamientos humanos mediante vías que permitan el adecuado transporte para el intercambio de bienes y servicios.

Enrique Flores en su descripción de las redes viales del Ecuador, muestra que existe evidencia de que el 70% de la red vial provincial terciaria y el 75% de la red vial provincial vecinal se encuentran en mal estado, este deterioro no solo encarece las materias primas, sino que también actúa como un obstáculo para el crecimiento de las áreas que carecen de una infraestructura vial óptima. (Flores, 2019)

En la provincia de Chimborazo, se contabiliza una extensión total de 3,588.48 km de vías, siendo 1,448.21 km correspondientes a vías de tercer orden. Estas vías, que conectan asentamientos humanos y cabeceras parroquiales rurales con asentamientos humanos, totalizan 326.92 km en el cantón Riobamba, representando el 49% de las vías de dicho cantón. De este total, la parroquia Pungalá destaca con una extensión de 91.04 km, de los cuales 65.23 km presentan un estado regular, registrándose puntos críticos en el sistema vial, derivados de factores geológicos, hidrogeológicos y la imperante necesidad de intervenciones de mantenimiento. (CONGOPE, 2019)

Dichas vías deben mantener niveles de servicio que garanticen condiciones óptimas de seguridad y confort para los usuarios. Lograr esto implica un diseño inicial cuidadoso y un mantenimiento constante a lo largo de su vida útil. Sin embargo, lamentablemente, el mantenimiento destinado a estas vías es a menudo insuficiente e incluso nulo debido a las limitaciones presupuestarias a nivel provincial. La falta de recursos impide mantener a todas las vías en buen estado. Por ello, surge la necesidad de ser más estratégicos en la planificación y ejecución de estudios y obras viales, maximizando así el uso del presupuesto institucional disponible. (CONGOPE, 2019)

En las vías de tercer orden, es común utilizar lastrado como capa de afirmado debido a su bajo costo inicial, facilidad de aplicación y mantenimiento, adaptabilidad a las condiciones del terreno, y la capacidad para realizar reparaciones localizadas. Además, no requiere equipos ni personal especializado, lo que lo convierte en una opción práctica y eficiente.

En el Ecuador la estabilización de subrasante con cemento es una técnica que lleva siendo aplicada aproximadamente 15 años, existen varios estudios en distintas provincias como: Guayas, Pichincha, Manabí, Tungurahua, Cañar y Azuay. Sin embargo, a pesar de los estudios,

el uso de esta técnica no ha sido ampliamente adoptada en el país. Se tiene registro de su aplicación en aproximadamente 50 km de vías de tercer orden, estando la mayoría de estas ubicadas en las provincias de Cañar y Azuay, donde se evidencia el incremento de las propiedades mecánicas del suelo y una mayor durabilidad al reducir la permeabilidad ayuda a que luego de varios años de operación no presenten fallos por fatigas comunes en los pavimentos flexibles. (Club Expreso, 2017)

1.2. Planteamiento del Problema

En el contexto de la difícil situación económica que enfrenta el Ecuador, la infraestructura vial, en especial la de tercer orden representa elementos cruciales para el desarrollo de la región. En el cantón Riobamba, la parroquia Pungalá destaca como punto crítico al poseer el 72% de las vías de tercer orden del cantón en condiciones precarias. Estas condiciones se atribuyen a diversos factores, como: problemas geológicos, hidrogeológicos y causados por falta de mantenimiento, por lo que para su análisis se ha tomado en cuenta la vía Pungalá - Alao de 13.8 km.

La insuficiencia de recursos financieros para satisfacer las necesidades de mantenimiento agrava la situación vial, resultando en la priorización de ciertas vías mientras que otras quedan en estado de abandono y deterioro. A pesar de su costo inicialmente económico, la aplicación del lastre no asegura soluciones a largo plazo, debido a que durante la temporada de lluvias esta técnica experimenta desprendimientos de material, formación de baches y acumulación de lodo, mientras que, en la estación seca, se genera polvo por el paso de los vehículos. Este ciclo de deterioro constante demanda al menos dos intervenciones de mantenimiento al año, lo que genera un costo mayor a lo largo de su vida útil.

La falta de intervención sumado a baja capacidad portante de los suelos naturales, el incremento de vehículos pesados y condiciones climáticas adversas complican la circulación por estas rutas, ocasionando que los productos campesinos tengan un costo más elevado, exista menor acceso a los centros de educación y salud provocando disminución en la calidad de vida. (Duque et al., 2019)

1.3. Justificación

Las vías de tercer orden con un tráfico diario inferior a 150 vehículos, tienen como objetivo principal fomentar el desarrollo de áreas potencialmente productivas y mejorar las condiciones de vida en comunidades rezagadas por falta de una vía terrestre de comunicación (Instituto Nacional de Vías [INVIAS], 2008). En esencia, las vías terciarias abren la puerta a la comunicación, comercio y el acceso a servicios fundamentales como la salud y educación, convirtiéndose en el motor que impulsa el desarrollo económico a nivel local. (Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia, 2020)

Se optó por seleccionar la vía Pungalá – Alao dado que constituye la vía de comunicación de Alao Llacta pamba, San Antonio de Alao, Shullidis, Peltetec y Melán con la parroquia Pungalá, siendo comunidades que aportan al rubro agropecuario del cantón, además sirve como punto de acceso a atracciones turísticas naturales como el parque nacional Sangay, alpinismo y pesca deportiva. (Gualli, 2022)

Es importante mantener estas vías en óptimas condiciones para el aporte y desarrollo del cantón. Dada la limitación presupuestaria, es necesario buscar alternativas económicas que agilicen el mantenimiento vial, haciendo que se ejecute menos y que dure más tiempo.

El incremento de la capacidad portante de la subrasante mediante alternativas constructivas viables como la estabilización físico-química con aditivos como es el cemento Portland busca reducir la sensibilidad al agua, aumentar en mayor grado su durabilidad, y aumentar la resistencia a la deformación bajo cargas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la dosificación de cemento portland más económica que mejore la capacidad estructural de las vías de tercer orden.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la geología local en la vía Pungalá–Alao conforme a los registros de los planes de ordenamiento territorial del cantón Riobamba.
- Mapeo del terreno en conformidad al módulo resiliente (MR) y la capacidad portante California (CBR) utilizando el equipo Geogauge.
- Determinar en laboratorio los parámetros mecánicos de la subrasante en función del mapeo obtenido.
- Medir la capacidad estructural a diferentes dosificaciones de cemento portland para cada muestra de suelo obtenido.
- Determinar la dosificación de cemento portland más económica.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Estado del arte

La idea de estabilizar un suelo con el propósito de aprovecharlo de manera más efectiva en proyectos de construcción tiene una historia milenaria. A lo largo de la historia, la humanidad ha recurrido a la cal y diversos conglomerantes puzolánicos para estabilizar suelos cohesivos. Un ejemplo de esto se remonta a 5000 años atrás en la India, China y las vías de comunicación del Imperio Romano, donde se empleaban estas técnicas. Asimismo, se observa el uso de estas prácticas en los conocidos caminos blancos de los mayas, construidos hace 2500 años en la región norte de Mesoamérica. (FICEM, 2007)

En el siglo XX, se produjeron avances significativos en la fabricación de conglomerantes, así como en el desarrollo de equipos y técnicas de construcción. Estos avances posibilitaron la realización de experimentos con mezclas de suelo-cemento, demostrando la viabilidad de utilizar suelos existentes modificados en distintos grados con cemento Portland y agua, seguido de su compactación. (FICEM, 2007)

En Inglaterra, en el año 1917, el ingeniero H.E. Brooke Bradley logró exitosamente la utilización de una mezcla de cemento con suelos arcillosos para la construcción de carreteras en el condado de Wiltshire. A pesar de los resultados favorables, esta técnica no volvió a ser empleada en los años subsiguientes. En contraste, en Estados Unidos, a partir de la patente de Joseph Hay Amies en 1917, que denominó "Soilamies" a una mezcla de suelo con cemento, y gracias al esfuerzo conjunto de la Portland Cement Association (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department de California, se llevaron a cabo diversos tramos experimentales de carreteras de suelos con cemento entre 1930 y 1940. (FICEM, 2007)

A partir de 1935 la Portland Cement Association (PCA) desarrolló una serie de investigaciones que derivaron en los primeros ensayos de humedad-densidad, humedecimiento-secado y hielo-deshielo de diversas mezclas de suelo-cemento y a partir de este trabajo a mediados de 1940 surgen las primeras normas ASTM y AASHTO para este tipo de material. (PCA, 1992)

En Latinoamérica las primeras experiencias con suelo-cemento no llegarían si no hasta después de la Segunda Guerra Mundial siendo Argentina, Colombia y El Salvador ejemplos de países con más de 50 años de experiencia en la construcción de caminos de este tipo. Así mismo, países como Alemania, Francia y Australia logran un continuo crecimiento del uso de suelo-cemento en años posteriores a 1950. (ISCYC, 2008)

Desde 1980 hasta la actualidad, el empleo de suelo-cemento se ha extendido globalmente, dando lugar a la disponibilidad de eficientes equipos estabilizadores-recicladores, así como distribuidores y dosificadores de cemento. Estos facilitan las labores en el campo y aseguran la

calidad en la mezcla y aplicación. A pesar de estos avances, persisten algunos desafíos relacionados con el conocimiento de este material.

En El Salvador, el 95% de los caminos rurales pavimentados cuenta con base de suelo-cemento y en la última década, todas las nuevas vías urbana, interurbanas y pisos industriales se han construido utilizando bases de suelo-cemento con resultados excelentes. (ISCYC, 2008)

Aunque en Ecuador existen estudios sobre la estabilización de suelos con cemento desde hace aproximadamente 15 años, su aplicación no ha alcanzado el nivel deseado. Aunque se destacan algunas obras, como los estacionamientos de la UDLA y los andenes del metro en Quito, así como el ingreso al PAN en Guayaquil. Su uso es ventajoso, ya que, al dimensionar la estructura de pavimento, se logra disminuir el espesor de la estructura de rodadura favoreciendo en la disminución de los costos de construcción además de incrementar su capacidad soportante a valores mayores a los que especifica el MOP en su normativa para mejoramiento de subrasante (Gavilanes Bayas, 2015)

En la tesis sobre “Estabilización de suelo con cal y cemento para el mejoramiento de la subrasante” (Zambrano Bravo & Zambrano Meza, 2023), mencionan que, en la estabilización con cal y cemento, se recomienda utilizar un 2 % mejorando las características y propiedades del suelo de subrasante en estudio; teniendo como resultado mejor resistencia y un bajo el índice de plasticidad que paso de 22.21 % a 8.16%.

Así mismo en la provincia de Manabí (Rezabala Leones & Ortiz Hernández, 2023) y (Celi Macías et al., 2023) concluyen que el uso de un 3% respecto al peso seco de material cementante, logró incrementar más de 5 veces la resistencia del suelo original.

Holcim Ecuador S.A, desarrollo una guía donde describe los procesos que se realizan con su cemento, las mejoras que se pueden obtener con la estabilización y el producto y el aumento en la durabilidad del pavimento rigiéndose a la norma ASTM D559 que, con una capa de subrasante mejorada de 15 cm en una vía de tercer orden se puede ahorrar el 20% del costo de mantenimiento con material granular en cuatro años, lo que equivale a 2.31 dólares por kilómetro con un ancho de siete metros, con doble riego el aumento del ahorro pasa a ser del 60%, se puede reducir la permeabilidad entre el 3.5 y el 10 %. (Holcim Ecuador S.A., 2016)

2.2. Suelo

2.2.1. Definición

Dentro de la ingeniería civil -según Braja M. Das- define al suelo como una delgada capa natural ubicada en la superficie terrestre que es resultado de la meteorización (intemperismo) que se puede desarrollar mediante procesos físicos, químicos y/o biológicos (Olarte Carpio, 2019). Si el suelo permanece en su lugar de origen, se denomina suelo

residual; en caso contrario, suelo transportado. (Crespo Villalaz, 2004) Los suelos son transportados por agentes como el agua, hielo o viento los cuales poseen materia orgánica, dando lugar a un cuerpo natural heterogéneo. (Duque Escobar & Escobar Potes, 2002)

2.2.2. Clasificación de los Suelos

Para establecer una clasificación apropiada de los suelos se toma en cuenta el tamaño de las partículas que lo componen, las características plásticas y el porcentaje de humedad presente en los mismos.

2.2.3. Clasificación AASHTO

La clasificación AASHTO es ampliamente utilizada para clasificar suelos dentro de la ingeniería civil y vial, el sistema lo clasifica en siete grupos basándose tanto en granulometría como en el límite líquido e índice de plasticidad, este sistema fue creado en 1929 y modificado en 1945 por el departamento de caminos de los EUA, ahora se rige por la norma AASHTO M 145. (UTC, 2016)

Tabla 1

Sistema de Clasificación AASHTO

Clasif. General	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla n° 200)							Limos y Arcillas (35% pasa malla n° 200)			
Grupos	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Subgrupos	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5/A - 7 - 6
% que pasa tamiz :											
N° 10	50 máx		51 mín								
N° 40	30 máx	50 máx	10 máx								
N° 200	15 máx	25 máx		35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	
Caract. Bajo N° 40											
LL				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
IP	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
IG	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos arcillosos	
Terreno fundación	Excelente		Excelente	Excelente a bueno				Regular a malo			

**El índice de Plasticidad del subgrupo A - 7 - 5 es menor o igual a (LL - 30)
El índice de Plasticidad del subgrupo A - 7 - 6 es mayor a (LL - 30)**

Fuente: (Herrera Álvarez & Mejía Niño, 2016)

Nomenclatura:

Suelos con 35% o menos de finos:

A-1 => Gravas y Arenas

A-2 => Gravas limosas o arcillosas, Arenas limosas o arcillosas

A-3 => Arenas finas

Suelos con más de 35% de finos:

A-4 => Suelos limosos

A-5 => Suelos limosos

A-6 => Suelos arcillosos

A-7 => Suelos arcillosos

2.2.4. Clasificación SUCS

El Sistema unificado de clasificación de suelo que fue propuesto por Casagrande en 1948 y revisado en 1952 en colaboración con el US Bureau of Reclamación, es en la actualidad ampliamente utilizado por los ingenieros (Norma ASTM D-2487). (Das, 2013)

Tabla 2
Sistema Unificado de Clasificación (SUCS)

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 PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 Φ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$ NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW. LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O LP. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARriba DE LA "LÍNEA A" CON LP. MAYOR QUE 7. Cu = D_{60} / D_{10} mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$ entre 1 y 3. No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW. LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O LP. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARriba DE LA "LÍNEA A" CON LP. MAYOR QUE 7.
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
		GM $\frac{d}{u}$	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	
		SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	
		SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SM $\frac{d}{u}$	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
			SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SM $\frac{d}{u}$	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
			SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 Φ Las partículas de 0.075 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 arcillosos 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 CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diastrómicos, más clásticos.	
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.	
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
	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.
 ☉ 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 ÚNICAMENTE. LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL LP. ES DE 6 O MENOS. EL SUFJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Fuente: (Das, 2013)

2.3. Propiedades de los suelos

2.3.1. Granulometría

Cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas en los suelos, para partículas con tamaños superiores a 75 μm se determina mediante tamizado, caso contrario por un proceso de sedimentación usando un hidrómetro. (ASTM, 2007)

2.3.2. Límites de Atterberg

En 1900 el científico sueco Albert Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad.

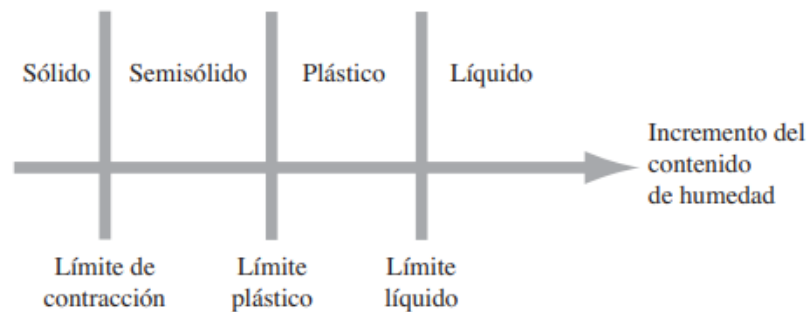


Figura 1 Límites de Atterberg
(Das, 2013)

- **Límite líquido.**

“Es el contenido de humedad propio que separa la consistencia plástica de la líquida del suelo”. Para determinar el límite líquido se utiliza la técnica de laboratorio llamado Copa de Casagrande. (MTC, 2014)

- **Límite plástico**

“Es una característica peculiar de los suelos finos, donde el contenido de humedad del suelo está sujeto al límite plástico y líquido”. “Es el contenido de humedad que separa la dureza semisólida de la plástica del suelo y se rompe” (MTC, 2014)

- **Índice de plasticidad**

Es el intervalo de humedades, donde la superficie toma resistencia plástica favorable, un Índice de Plasticidad grande pertenece a una superficie muy arcillosa, un suelo con altos volúmenes de arcilla puede ser peligroso para la subrasante. (MTC, 2014)

2.3.3. Contenido de humedad

Se refiere a la relación entre el peso del agua presente en la masa de suelo, al peso de las partículas sólidas del mismo, es representado en porcentaje que puede exceder el 100%. (ASTM, 2010)

2.3.4. Densidad

La densidad se refiere a la cantidad de materia que llena un espacio específico. Al aplicar este principio elemental a los suelos, podemos interpretar la densidad del suelo como la medida o proporción de cuánto suelo puede ocupar en un determinado volumen. (Sierra Pérez & Varela Paternina, 2012)

2.3.5. Densidad máxima y humedad óptima

La densidad máxima se refiere al mayor peso por unidad de volumen alcanzable en una muestra de suelo, y se logra mediante el proceso de compactación, y para obtener una compactación máxima, es necesario contar con la humedad óptima, transitar del estado seco al estado plástico, aplicar carga y reducir el volumen de aire en el suelo. (Toirac Corral, 2008)

2.3.6. Capacidad portante

Es la capacidad que tiene el terreno para resistir las cargas generadas por el tráfico que transita por la vía, sin experimentar deformaciones excesivas o sufrir cortes. (Niño Sana, 2015)

2.4. Infraestructura vial

La infraestructura vial desempeña un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico de una región, proporciona conexión entre diferentes áreas geográficas para intercambio de bienes y servicios.

En la provincia de Chimborazo se registra un total de 3 588,48 km de red vial de los cuales 667,18 km pertenecen al cantón Riobamba. La mayor cantidad de superficie de rodadura corresponde a lastre con 326,92 km, donde el mayor número se encuentra en la parroquia Pungalá con 91,04 km registrados en vías cuyo tipo de interconexión corresponde a Parroquia Rural – Parroquia Rural y vías de tipo Asentamiento Humano – Asentamiento Humano es decir vías de tercer orden. (CONGOPE, 2019)

En el cantón Riobamba la infraestructura vial se encuentra en estado regular con 325,52 km que, en mayor parte presenta puntos críticos de origen hidrogeológico y por necesidad de

mantenimiento, donde la parroquia Pungalá es la parroquia que más kilómetros en estado regular presenta con 65,23 km dentro de los cuales se encuentra la mayor proporción de puntos críticos del cantón. (CONGOPE, 2019)

2.5. Estructura de la vía

Se puede definir como una estructura conformada por varias capas de diferente espesor y calidad con materiales seleccionados, diseñada y construida técnicamente sobre la capa de suelo natural o compactado conocida como subrasante, con el objetivo de brindar el tránsito de vehículos de una manera cómoda, segura, eficiente y económica. (Montejo, 2002)

2.6. Subrasante

Es la superficie obtenida con las explanaciones la cual debe tener una resistencia y regularidad geométrica adecuada. (Kreamer et al., 2004). Puede estar constituida por suelos en estado natural o con algún proceso de mejoramiento, como lo es la estabilización mecánica que consiste en aplicar cargas para reducir los espacios vacíos entre partículas de la estructura del suelo y así aumentar la capacidad portante. La estabilización química consiste en agregar un aditivo que mejora las propiedades físicas y mecánicas del material, haciendo que las partículas queden cementadas con el aditivo, aumentando la resistencia a la compresión y reduciendo la deformación.

De la calidad de la subrasante depende que los espesores en el pavimento sean de menor tamaño, en el caso de las vías de tercer orden, la capa de rodadura es la misma; por eso se busca que tenga una buena calidad para evitar problemas de circulación debido a las deformaciones que puedan presentarse. (Álvarez Pabón, n.d.)

2.6.1. Aspectos importantes de una subrasante

Las principales funciones de la capa subrasante son: recibir, transmitir, distribuir y resistir de modo adecuado las cargas provenientes de las ruedas, por lo que es necesario un parámetro de evaluación para esta capa, empleándose así la capacidad de soporte (CBR) o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. (Montejo, 2002)

De acuerdo con (Kreamer et al., 2004), con la formación de una subrasante se debe conseguir una superficie:

- Sin excesivas irregularidades, de manera que el espesor de la capa inferior del pavimento pueda ser sensiblemente uniforme.
- Poco sensible a los cambios de humedad.

- Con pendientes que permitan drenar las precipitaciones ocurridas durante la ejecución de las obras.
- Con una resistencia suficiente para soportar el tráfico de obra sin presentar erosión o deformaciones.

En un proyecto de pavimento es necesario ajustar la capacidad de la subrasante a la carga de la rueda y, aunque esto se pueda realizar por reglas empíricas basadas en experiencias anteriores, una buena ingeniería económica y practica requiere de una evaluación de las propiedades físicas más significativas de la subrasante y un proyecto de pavimento que se ajuste a las mismas. (Sowers et al., 1972)

2.6.2. Características que deben cumplir los suelos para conformar una subrasante.

Según el (MTC, 2014), una vez definido el valor de índice CBR para cada tramo con características homogéneas, se determinará la categoría de subrasante perteneciente a dicho valor de CBR.

Tabla 3

Categorías de subrasante en función de su índice CBR

Categorías de subrasante	Índice CBR
Subrasante inadecuada	$CBR < 3\%$
Subrasante insuficiente	$3\% \leq CBR < 6\%$
Subrasante regular	$6\% \leq CBR < 10\%$
Subrasante buena	$10\% \leq CBR < 20\%$
Subrasante muy buena	$20\% \leq CBR < 30\%$
Subrasante excelente	$30\% \leq CBR$

Fuente: (MTC, 2014)

Para poder asignar la categoría de la subrasante indicada en la Tabla 3, los suelos de la explanación deberán tener un ancho mínimo de 0.60m del material correspondiente a la categoría asignada, caso contrario se le asigna la calidad inferior.

Para ser conformado como subrasante el suelo según el (MTC, 2014), deberán ser suelos adecuados estables con $CBR \geq 6\%$; En el caso contrario con $CBR < 6\%$ corresponde estabilizar los suelos.

2.7. Geología local de la vía

La vía Pungalá - Alao en su extensión de 13.8 km contiene dos formaciones geológicas que según el mapa geológico de la ciudad de Riobamba de 1978 (Dirección General de Geología y Minas, 1978), son piroclastos volcánicos del Altar [Pa] y serie Paute [L].

La serie Paute está constituida por esquistos y cuarcitas siendo estas últimas abundantes a lo largo del río Alao donde también aflora gneis altamente meteorizado. Los volcánicos del Altar están representados principalmente por piedra pómez y fragmentos andesíticos donde en algunos sectores se presentan pseudoestratificados con intercalaciones de capas de tobas arenosas, las lavas varían de color verde claras a oscuras y sus texturas son cripto-cristalinas de grano fino.

También según (Buenaño Lascano, 2018) en la vía Pungalá – Alao se destaca el granito de Pungalá que principalmente se trata de granodiorita hasta cuarzo-diorita con una gran cantidad de plagioclasa, piroxeno, anfíbol, cuarzo y feldespato de potasio. En ciertas zonas presenta una gran meteorización a minerales arcillosos por parte de las plagioclasas.

2.8. Propiedades del cemento Portland

Es un polvo fino que resulta de la calcinación a 1,450°C de una combinación de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro, el resultado es el Clinker principal ingrediente del cemento que se muele con el yeso y otros aditivos dando como resultado final el cemento. (CEMEX, 2020)

El cemento un conglomerante inorgánico molido y amasado con agua dando como resultado una pasta que fragua mediante las alteraciones de hidratación, Al combinar el cemento con el suelo le da una dureza técnica mecánica alargando la vida útil de una estructura. (Silva, 2020)

Las propiedades más relevantes del cemento son: la finura, la fluidez o consistencia normal, la densidad, la resistencia a la compresión, la expansión, los tiempos de fraguado y el fraguado rápido. (Silva, 2020)

2.9. Ensayo de medición de rigidez por el método GEOGAUGE

El Geogauge es una herramienta de campo que sirve para medir la variabilidad de la rigidez en toda la estructura de pavimento, perfecto para la medición de densidades o porcentajes de compactación.

Dadas las características del Geogauge y su sencillo sistema de evaluación que consiste en el concepto básico de emitir cargas a través de un ligero peso, y por medio de sensores mide la deflexión ocasionada por dicho peso, por medio de esta relación se puede obtener el módulo de rigidez de un suelo estipulado. (Sierra Pérez & Varela Paternina, 2012)

El Geogauge se presenta como una alternativa innovadora que ha implementado todos los conocimientos en conjunto con la tecnología para salvar tiempo, así como alternativa para

aquellos métodos que representan restricciones dado al manejo del material radioactivo como lo es el densímetro nuclear. (Sierra Pérez & Varela Paternina, 2012)

2.10. Ensayo de laboratorio California Bearing Ratio (CBR)

La prueba de "CBR" (California Bearing Ratio), también conocida como la prueba de relación de soporte regida a la norma ASTM-1883, es un procedimiento mediante el cual se mide la resistencia al corte del suelo en su estado actual mediante ensayos de laboratorio en condiciones de humedad y densidad controladas. Se aplica una carga creciente de 0.1" o 0.2" sobre la muestra compactada después de que se sumerge durante 72 horas con un contenido de humedad óptimo determinado mediante la prueba de Proctor modificado. Después de la prueba CBR, se genera una gráfica de carga versus penetración que muestra la carga y la profundidad a la que el pistón penetró en la muestra. (Botía Díaz et al., 2015)

El valor del CBR se calcula en función de la relación entre la carga necesaria en unidades de peso por pulgada cuadrada (lb/in²) para producir una determinada penetración del pistón en el suelo.

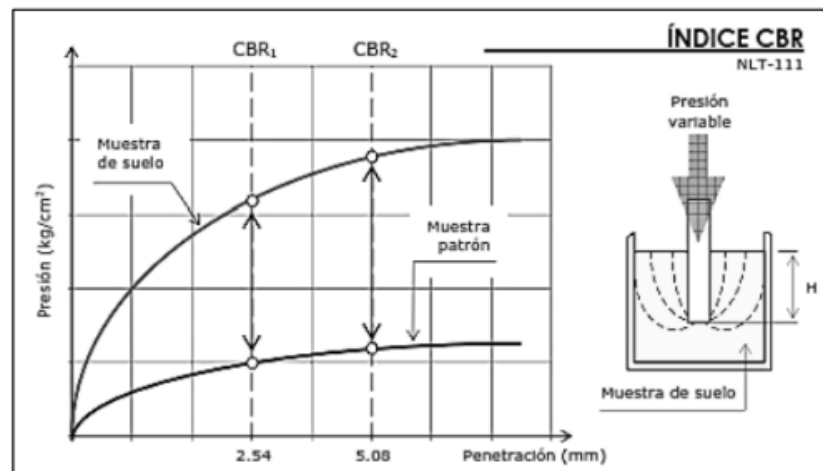


Figura 2 Gráfica de ensayo para determinación de CBR

Fuente: (Botía Díaz et al., 2015)

2.11. Estabilización de subrasante con cemento

La estabilización de subrasante se hace con el objetivo de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, donde el cemento Portland se utiliza para transformar el suelo en una masa cementada, lo que aumenta significativamente su resistencia y durabilidad.(USACE, 1984). Adicionalmente (Das, 2012), nos menciona que al igual que la cal el cemento ayuda reduciendo la porosidad y plasticidad.

Siendo los suelos por lo general un conjunto de partículas inertes granulares con otras activas de diversos grados de plasticidad, la acción que produce en ellos el cemento es doble. Por una

parte, actúa como conglomerante de las gravas, arenas y limos desempeñando el mismo papel que en hormigón. Por otra parte, el hidrato de calcio, que se forma al contacto del cemento con el agua, libera iones de calcio que por su gran afinidad con el agua roban algunas de las moléculas de esta interpuestas entre cada dos laminillas de arcilla evitando que tenga una expansividad alta. (ESTABILIZACION DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, n.d.)

(Laguros & Davidson, 1962) explica que el material cementante se distribuye en el suelo formando un esqueleto enrejado, con películas delgadas que envuelven las micro agregaciones del suelo. Además, en pequeñas mezclas de cemento se distribuyen en el suelo tratado como afloramientos separados no conectados, donde su principal función es obtener una mayor cohesión.

Las propiedades del suelo-cemento dependen de:

- Tipo y cantidad de suelo, cemento y agua.
- Ejecución.
- Edad de la mezcla compactada y tipo de curado. (MTC, 2008)

2.11.1. Suelos aptos para estabilizarse con cemento.

Todos los suelos pueden estabilizarse con cemento, sin embargo, cuando se realiza un diseño se opta por el mínimo consumo de cemento y en esos casos se reduce la cantidad de suelos aptos. (Camargo Vasquez & Duran Vergara, 2018)

Los suelos arenosos y suelos con grava con un contenido aproximado de 10% de limo y 35% de arcilla tienen las propiedades más favorables, y requieren de una pequeña cantidad de cemento para un endurecimiento adecuado. Los suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad, necesitan altos contenidos de cemento para brindar una mezcla satisfactoria. Mientras que los suelos orgánicos por sus propiedades expansivas y de baja capacidad portante no permiten realizar una mezcla satisfactoria. (Valdivia Cariat, 2016)

Según la PCA (Portland Cement Assosiation) el tamaño máximo de las partículas del material a estabilizar debe ser de 5.1 cm, el Índice de Plasticidad (IP) para estos materiales debe ser menor de 30, mientras que para materiales más finos el IP debe ser inferior a 20 con Limite Líquido (LL) por debajo de 40 (U.S. Department of Transportation, 1992)

2.11.2. Dosificación del cemento

Según la (FICEM, 2007), una dosificación de suelo, agua y un mínimo 2% de cemento del peso seco, es necesario para obtener un suelo estabilizado con cemento, a fin de obtener un material dotado de rigidez y resistencia mecánica para ser usado en subrasantes o explanadas, especialmente en estructuras de pavimentos para tráfico pesados.

2.12. Ventajas del suelo estabilizado con cemento

- Es un material resistente y durable.
- La utilización de recursos locales.
- Genera un menor impacto ambiental al disminuir la necesidad de depender en gran medida de la extracción de recursos de bancos de materiales.
- Aporta una mayor rigidez y distribución de carga aplicada al pavimento.
- Resistencia a los agentes atmosféricos.
- Aumento de resistencia y menores intervenciones de mantenimiento. (Morocho Adrianzen & Casaverde Farfan, 2022)

2.13. Desventajas del suelo estabilizado con cemento

- Si no se diseña ni se controla correctamente, podría haber un exceso de esfuerzos internos debido a la contracción del material, lo que resultaría en grietas que se manifestarían en las capas bituminosas.
- El tiempo disponible para llevar a cabo la mezcla, conformación y compactación está limitado por el tiempo de fraguado del cemento.
- Las capas de suelo cemento requieren revestimientos de rodadura compuestos por materiales bituminosos, como asfalto, tratamientos superficiales, o capas de rodadura de concreto hidráulico, dado que poseen una resistencia limitada al desgaste. (Morocho Adrianzen & Casaverde Farfan, 2022)

2.14. Mantenimiento periódico

Se refiere al conjunto de acciones realizadas dentro del presupuesto anual destinado a preservar la calzada, el sistema de drenaje, las áreas laterales, la señalización y las estructuras diversas en una carretera. Estos trabajos, de naturaleza preventiva, se llevan a cabo a lo largo del año en diversas magnitudes, ya sea limitada o ilimitada, con el propósito de mantener la transitabilidad adecuada y prevenir el deterioro prematuro de la vía. Estas actividades se programan considerando prioridades, estacionalidad y las particularidades de la carretera. (Pezo Saavedra, 2018)

2.15. Mantenimiento rutinario

Es el conjunto de actividades destinadas a recuperar las propiedades de la superficie de rodadura, incluyendo uniformidad, textura y resistencia. Estos trabajos se llevan a cabo en intervalos de tres o cuatro años en las vías que están sometidas a un mantenimiento rutinario constante. (Pezo Saavedra, 2018)

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativa debido a que recopila, analiza y presenta los datos obtenidos de los ensayos mediante la expresión numérica de las variables para respaldar los hallazgos, permitiendo realizar un análisis estadístico para determinar la significancia de las diferencias y relaciones de las variables estudiadas.

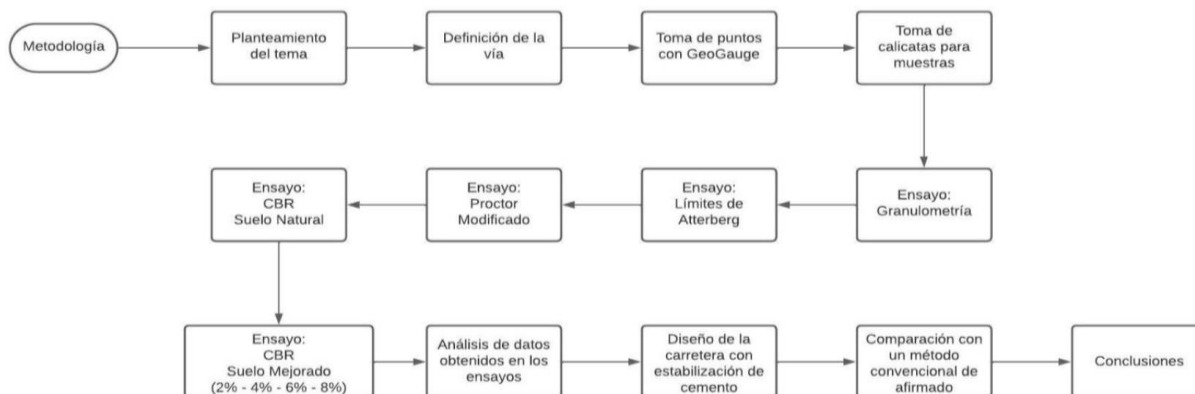


Figura 3 Diagrama de flujo de la metodología

3.2. Diseño de investigación

El presente estudio utiliza un diseño experimental con un enfoque cuantitativo, lo que implica la manipulación de una variable independiente (adicción de cemento al suelo), para investigar su impacto en las propiedades mecánicas del suelo, tiempos de mantenimiento y costo, que se consideran variables dependientes. Es importante realizar un análisis estadístico de los datos recopilados para obtener conclusiones significativas y respaldadas.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron: la toma de datos in situ utilizando el equipo Geogauge para los diferentes estratos presentes en la vía obteniendo sus características; así como también la toma de aproximadamente 200 kg de suelo obtenido de las calicatas realizadas para los diferentes estratos, los cuales según la norma NEVI-12-MTOP Vol. II B (NEVI-12 - MTOP, 2013b) y NEVI-12-MTOP Vol. II (NEVI-12 - MTOP, 2013a) “Manual de control de calidad en la construcción de las obras de infraestructura del transporte” en particular para suelos estabilizados con cemento, las cuales se basan en la metodología de diseño PCA (Portland Cement Assosiation) para mezclas de suelo-cemento definen los siguientes ensayos y normativas a aplicar.

Tabla 4

Ensayos necesarios a realizar según NEVI-12

N°	Ensayo	Norma	Detalles
1	Granulometría	ASTM D 422-63 ASTM D 3282	Análisis Granulométrico y Clasificación de suelos para subrasantes de todos los estratos
2	Límite líquido	AASHTO T-89	Realizado para todos los estratos sin adición de cemento
3	Límite plástico	AASHTO T-90	Realizado para todos los estratos sin adición de cemento
4	Proctor modificado	ASTM D-1557	Realizado para todos los estratos sin adición de cemento (Método A)
5	CBR	ASTM D-1883	Realizado para todos los estratos sin adición de cemento, y con la adición de 2,4,6 y 8% de cemento para determinar la variación de la capacidad portante.
6	Espesor a estabilizar	MTC, 2008	Realizado con el método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTROADS)

3.4. Población de estudio y tamaño de la muestra

3.4.1. Población de estudio

La población de estudio de esta investigación se centra en las vías de tercer orden del cantón Riobamba, vías que representan un componente crucial dentro de la infraestructura de transporte de la región, donde se identificaron los diferentes tipos de suelo que la componen con sus respectivas características geotécnicas.

3.4.2. Muestra

En el marco de esta investigación, se ha seleccionado la vía Pungalá-Alao como la muestra de estudio por su localización, ya que según (CONGOPE, 2019) en Pungalá, es donde se presenta la mayor cantidad de vías de tercer orden que se encuentran en estado regular debido a problemas hidrogeológicos y por falta de mantenimiento. Esta carretera a lo largo de su extensión presenta cuatro estratos geotécnicos que se considerarán en el análisis permitiendo obtener información valiosa sobre la variabilidad de las condiciones geotécnicas de la zona.

3.5. Hipótesis

Se hipotetiza que la adición de diferentes porcentajes de cemento (2%, 4%, 6% y 8%) a la subrasante de las vías de tercer orden en el cantón Riobamba mejora significativamente las características geotécnicas del suelo, lo que, a su vez, alarga la vida útil de las vías y reduce la necesidad de intervenciones de mantenimiento a lo largo del tiempo. Se espera que a medida que aumenta el porcentaje de cemento, se observe un mayor efecto de estabilización en la subrasante y, por lo tanto, una mayor resistencia y durabilidad de las vías.

3.6. Métodos de análisis y procesamiento de datos

La obtención y procesamiento de datos sugirieron un proceso detallado, enfocado en la evaluación geotécnica de la subrasante de la vía Pungalá-Alao y la mejora de su capacidad portante. A continuación, se describen las etapas fundamentales:

- 1. Caracterización de la subrasante In Situ.** – se realizó un reconocimiento de la vía Pungalá-Alao empleando el equipo Geogauge para la determinación de las propiedades geomecánicas, específicamente el módulo de Young y la rigidez, a lo largo de los diferentes tramos, con el propósito de establecer la estratificación del suelo.
- 2. Obtención de CBR (California Bearing Ratio) In Situ.** – con los datos obtenidos de la etapa anterior se calcula el CBR de cada estrato con una fórmula empírica, lo que permitió determinar su capacidad portante.
- 3. Extracción de muestras representativas.** – se realizaron calicatas de 1 m² por 1,20 m de profundidad para cada estrato de suelo con el fin de obtener muestras representativas de 200 kg para su posterior análisis.
- 4. Ensayos de Granulometría.** – se llevaron a cabo ensayos de granulometría para los cuatro tipos de suelo.
- 5. Determinación de los límites de Atterberg.** – se determinaron para cada tipo de suelo para definir su clasificación.
- 6. Ensayo de Proctor modificado (Método A).** – se realizó para los diferentes tipos de suelo con el fin de obtener la densidad seca máxima y la humedad óptima, información esencial para el diseño de la estabilización con cemento.
- 7. Ensayo CBR (California Bearing Ratio).** – se realizó el ensayo CBR tanto en el suelo natural como en el suelo estabilizado con diferentes porcentajes de cemento (2%, 4%, 6%, y 8%).
- 8. Comparación de CBR.** – los resultados se compararon para evaluar el aumento de la capacidad portante tras la estabilización con cemento.
- 9. Diseño del espesor a estabilizar.** - Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado se adoptó como representativa la ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTRROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE (Ejes Equivalentes).

- 10. Diseño de rehabilitación de subrasante.** – se procedió al diseño de soluciones de rehabilitación de subrasante para vías de tercer orden según normativas locales, considerando los diferentes tipos de suelo y los contenidos de cemento.
- 11. Selección del porcentaje óptimo de cemento.** – se identificó el porcentaje mínimo de cemento necesario para mejorar las propiedades mecánicas del suelo.
- 12. Obtención de los precios unitarios para estabilización de subrasante.** - en base a precios unitarios obtenidos del portal de compras públicas SERCOP, se obtiene el costo por kilómetro de vía estabilizada.
- 13. Comparación con un método convencional de afirmado.** – en este caso se compara con el lastrado, al ser una de las técnicas más utilizadas para vías de tercer orden.

Este proceso metodológico permitió una evaluación exhaustiva de las condiciones geotécnicas de la subrasante y la optimización de la estabilización con cemento para mejorar la capacidad portante y alargar la vida útil de las vías de tercer orden del cantón Riobamba.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Geología local

La vía de estudio atraviesa por la codillera Real que constituye un núcleo de rocas sedimentarias e ígneas Paleozoicas a Cretácicas metamorfoseadas donde se distinguen las siguientes formaciones geológicas según la carta Geológica de 1978 obtenida por el GAD de Riobamba.

De tipo [Pa] piroclásticos volcánicos del Altar y [L] que corresponde a filitas, meta volcánica y series Paute.

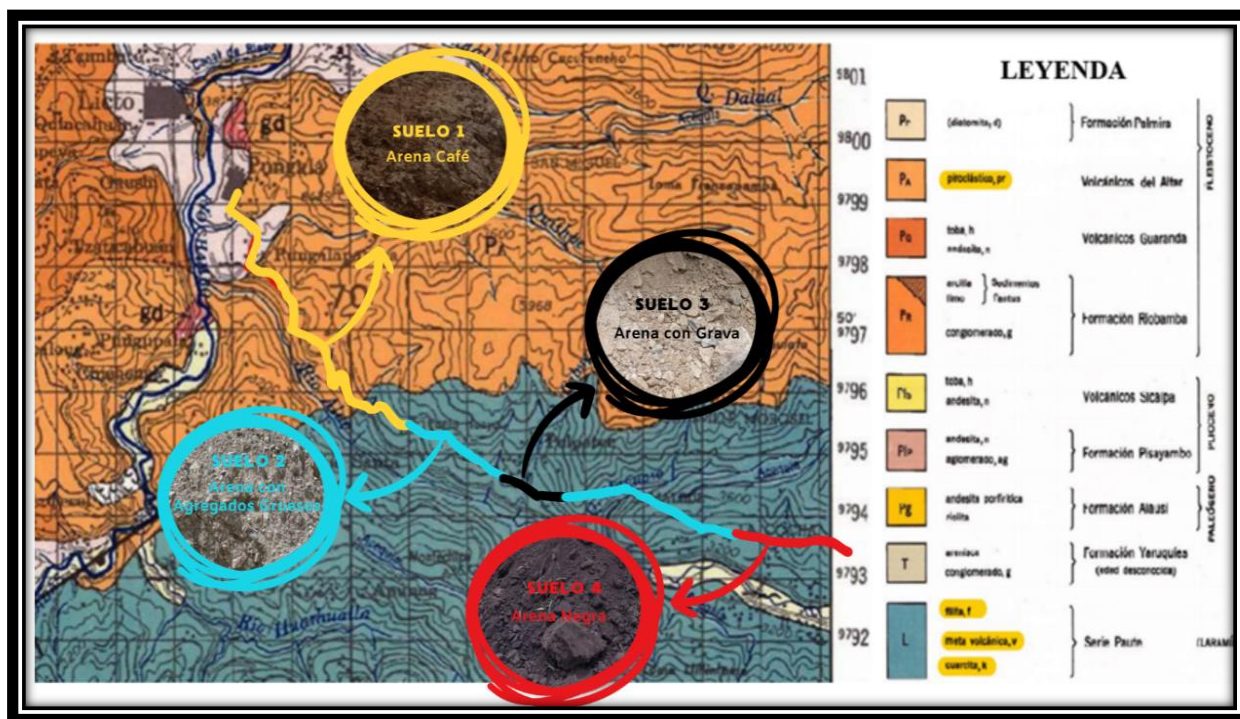


Figura 4 Mapa Geológico de la vía Pungalá-Alao.

4.1.2. Datos de CBR de la vía

Una vez obtenidos los datos arrojados por el Geogauge se procesan mediante fórmulas empíricas para convertirlos en datos de módulo resiliente y posteriormente en valores de CBR como se muestra a continuación.

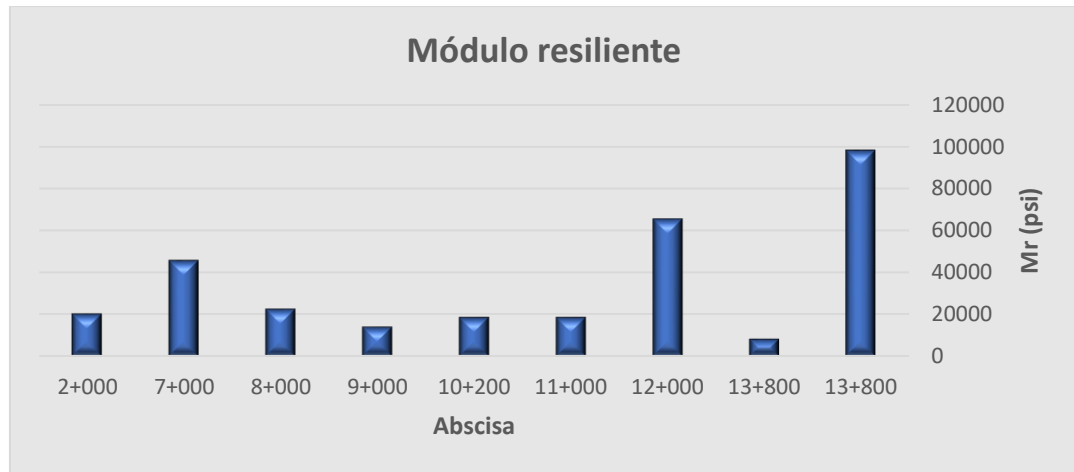


Figura 5 Módulo resiliente en base a transmutación de los datos obtenidos por el Geogauge.

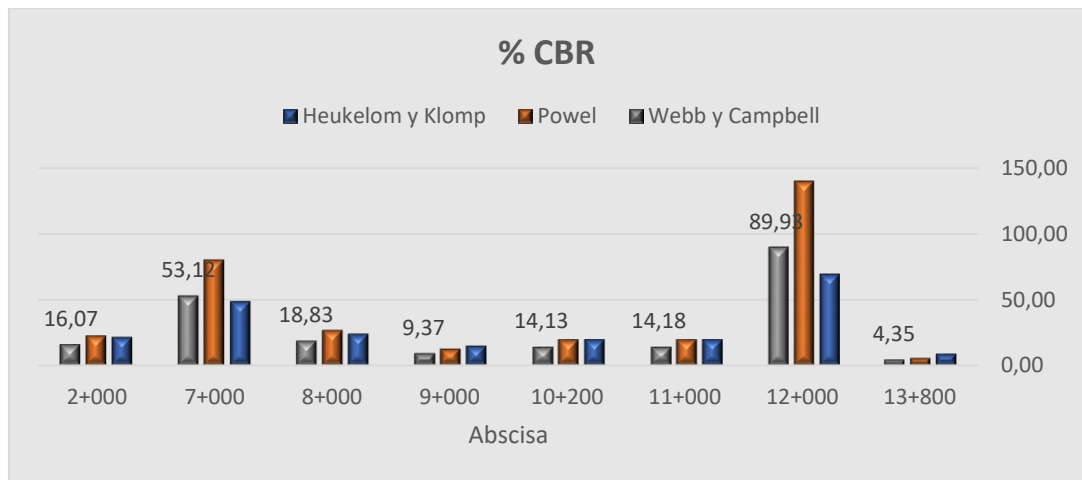


Figura 6 Comparación de valores CBR mediante fórmulas empíricas.

Elegimos los valores de CBR obtenidos de la fórmula de Webb y Campbell ya que representan valores más conservadores de CBR para ese tipo de suelos.

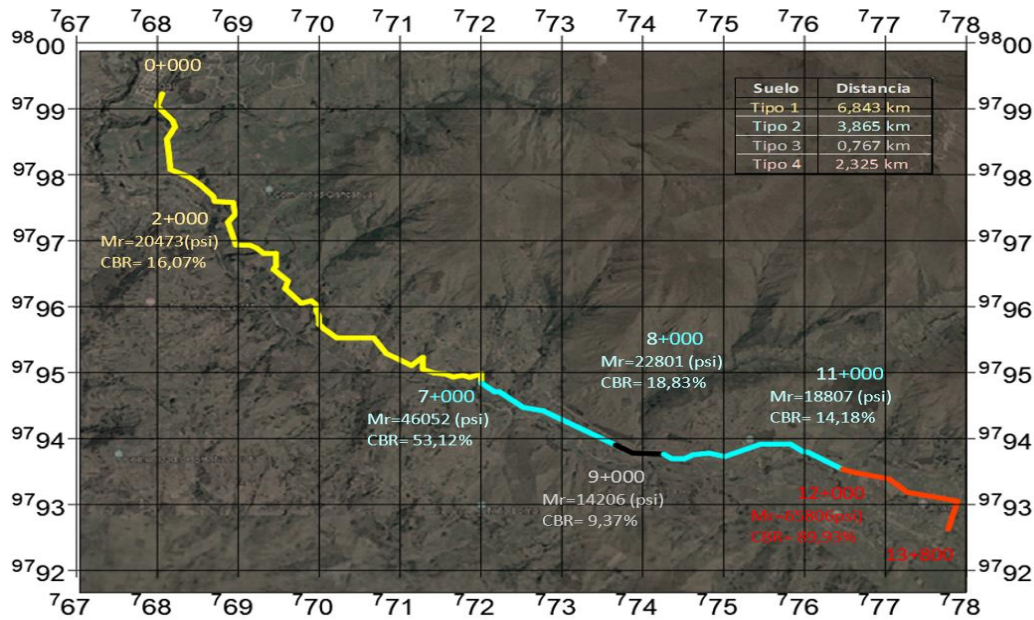


Figura 7 Mapeo de la vía en conformidad al Módulo resiliente y CBR utilizando el Geogauge.

4.1.3. Clasificación del suelo que conforma la subrasante de la vía Pungalá-Alao

Para la clasificación de los 4 estratos identificados anteriormente se realizan pruebas de laboratorio de granulometría y límites de Atterberg que se resumen en la Tabla 5., pero cuyos ensayos se encuentran en la sección de anexos.

Tabla 5
Clasificación de los suelos obtenidos de las calicatas.

Características físicas del suelo				
Suelo	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Profundidad calicata (m)	1.20 – 1.50	1.20 – 1.50	1.20 – 1.50	1.20 – 1.50
Denominación	A. Café	A. Agg	A. G,A	A. Negra
Límite líquido (LL)	32.85	26.36	40.35	25.73
Límite plástico (LP)	30.28	20.94	38.43	22.17
Índice de plasticidad (IP)	2.57	5.42	1.92	3.56
Clasificación				
SUCS	SM-u	SM-CL	SW Cu=18.88 Cc=1.32	SM-d
AASHTO	A-4	A-4	A-1-b	A-4

Dentro de la clasificación SUCS los suelos estudiados pertenecen a las siguientes categorías:

- SM-u. – arena limosa con límites de plasticidad altos.
- SM-d. – arena limosa con límites de plasticidad bajos.
- SM-CL. – arena limo arcillosa con límites de plasticidad bajos.
- SW. – arena bien graduada con grava y poca cantidad de finos.

Para la clasificación según el sistema AASHTO los suelos estudiados pertenecen a las siguientes categorías:

- A-4. – suelos limosos de comportamiento regular como subrasante.
- A-1-b. – suelos con fragmentos de roca, grava y arena, excelentes como subrasante.

4.1.4. Proctor modificado

Se realiza el ensayo de Proctor modificado con el objetivo de determinar la densidad seca máxima y el porcentaje de humedad óptima para cada tipo de suelo como se representa a continuación.

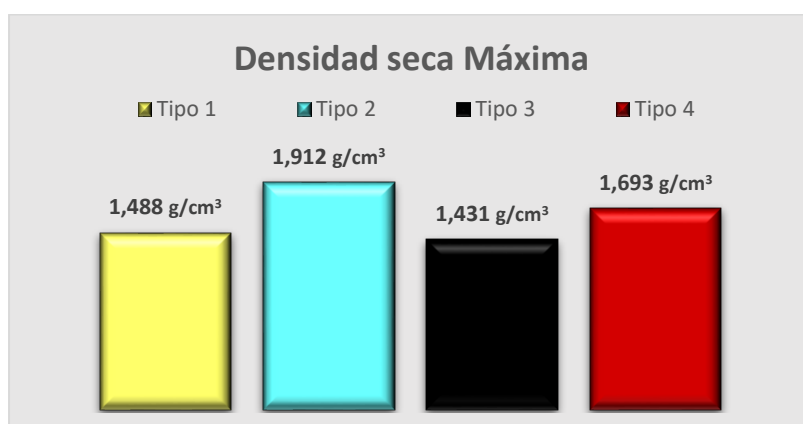


Figura 8 Densidad seca Máxima de cada tipo de suelo.

Dentro de los suelos estudiados el suelo que mayor densidad seca máxima natural presenta es el suelo Tipo 2 perteneciente a la arena limo arcillosa (SM-CL) descrita anteriormente como arena con agregados gruesos (A.Agg)

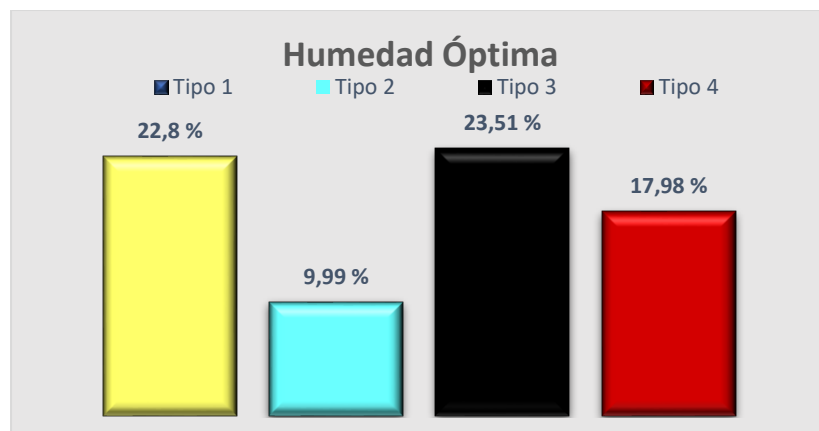


Figura 9 Humedad óptima necesaria para la compactación.

Para lograr una máxima compactación se utiliza la humedad óptima, donde curiosamente podemos observar que para el suelo que mayor densidad seca máxima posee es aquel que necesita la humedad óptima más baja, mientras que el suelo con menor densidad seca máxima necesita de una humedad óptima más alta.

4.1.5. Ensayo de CBR

El ensayo CBR se realizó para los diferentes tipos de suelos obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 6

Ensayo CBR para cada tipo de suelo natural.

Suelo Natural	Tipo 1			Tipo 2			Tipo 3			Tipo 4		
	A1	A2	A3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	B1	B2	B3
γ_s [g/cm ³]	1,289	1,3	1,31	1,612	1,701	1,793	1,236	1,31	1,354	1,075	1,148	1,223
%CBR	4,12	4,64	6,26	2,37	6,75	22,67	23,85	23,58	28,75	6,32	11,86	13,54
%Hincham.	5,28	4,84	2,83	10,55	9,45	7,32	1,77	1,3	1,26	3,15	2,44	2,28
%Humedad	27	27	27	21	19	16	26	26	26	32	32	32
0,1 [lb/in ²]	37,33	40,33	51,33	21,33	65	220	246,33	205	265	68,33	120,67	124
0,2 [lb/in ²]	67,67	78,67	110,67	39	105	350	346	400	465	87	174,67	220,33
	CBR al 100% = 24,23%			CBR al 100% = 34,27%			CBR al 100% = 30,24%			CBR al 100% = 37,13%		
	CBR al 95% = 16,63%			CBR al 95% = 23,51%			CBR al 95% = 27,60%			CBR al 95% = 33%		

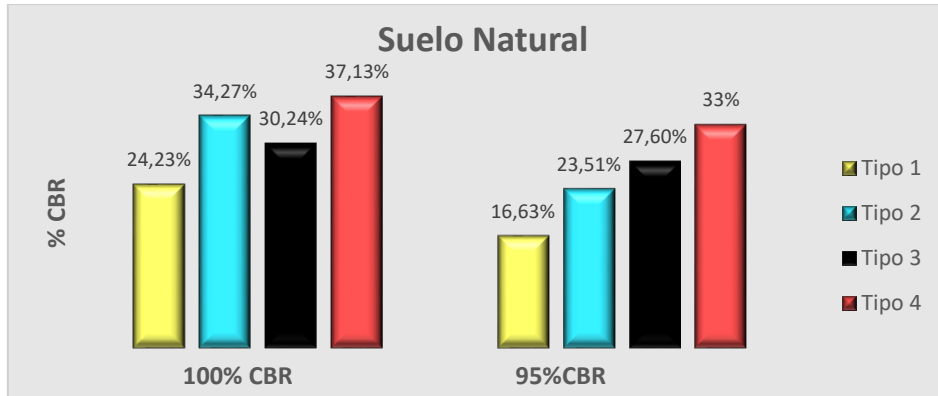


Figura 10 CBR del suelo natural al 100% y 95% de la densidad seca máxima.

Se obtiene el valor de CBR al 95% basándonos en la premisa de que en la vida real rara vez se alcanza una compactación al 100% de la densidad máxima, siendo una forma de proporcionar un factor de seguridad adicional en el diseño de la misma.

4.1.6. Ensayo CBR con adición de cemento portland

Luego de la obtención de los valores de CBR para suelo natural, se añade los porcentajes de cemento para estabilización de suelos antes descritos (2%, 4%, 6% y 8%) con la intención de observar cambios en los mismos.

El primer cambio que se pudo observar fue en el hinchamiento del suelo, ya que al agregar cierto porcentaje de cemento se logra controlar el hinchamiento favorablemente describiendo los siguientes resultados.

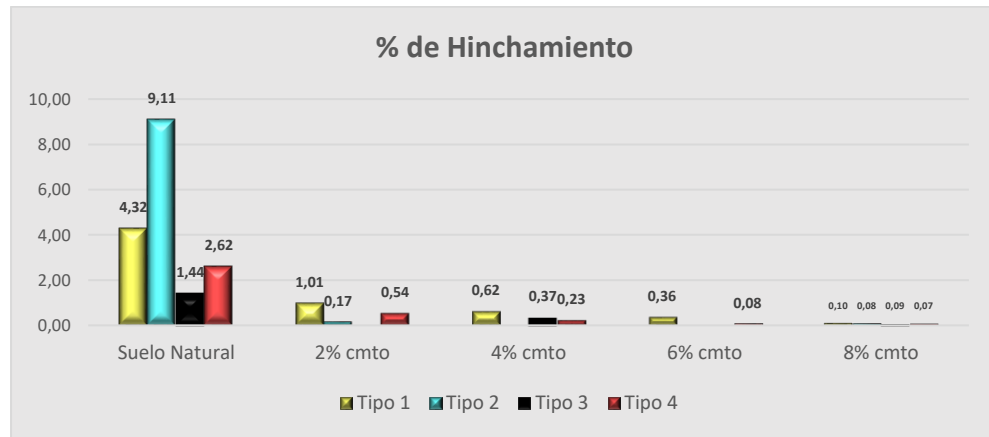


Figura 11 Porcentaje de hinchamiento de las muestras sumergidas 96 horas.

El siguiente cambio que se aprecia es el incremento en la capacidad de soporte CBR describiendo los siguientes resultados:

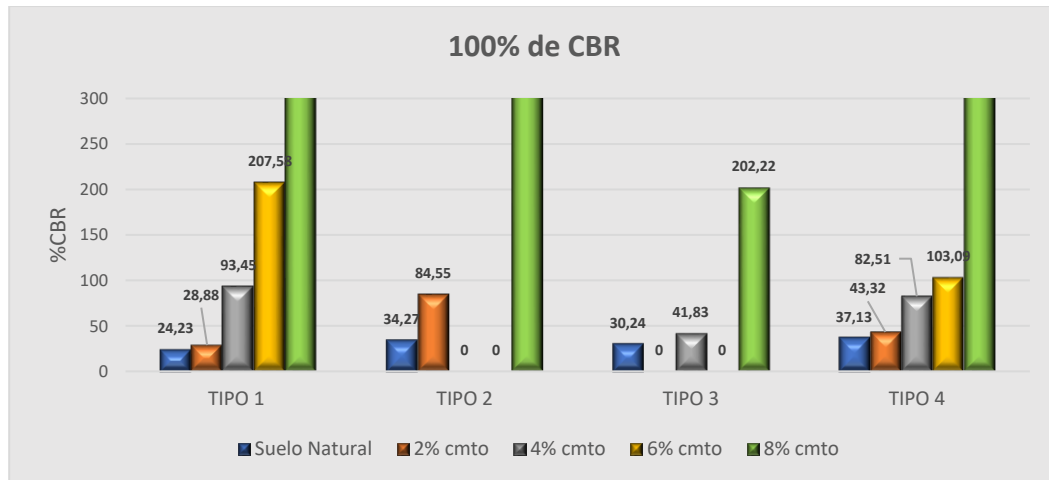


Figura 12 Resultados del ensayo CBR de suelos estabilizados con cemento

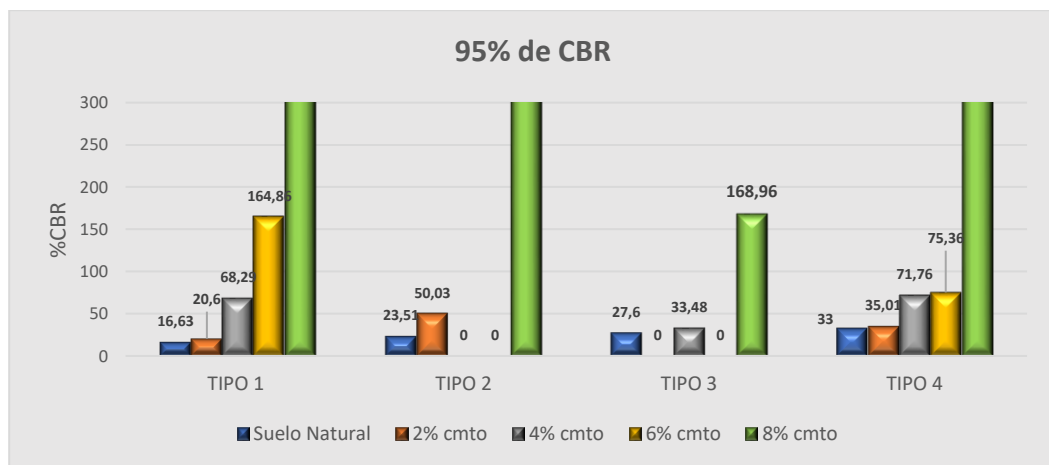


Figura 13 Resultados CBR de suelos estabilizados con cemento al 95% de la densidad seca máxima.

En la adición de 8% de cemento se puede observar un incremento desmesurado para los suelos de tipo 1,2 y 4; esto se interpretó con fines didácticos ya que, en la experiencia de laboratorio del ensayo a esta adición de cemento, la máquina de penetración Marshall usada para el ensayo CBR presentaba fallas debido a la dureza del suelo.

4.1.7. Espesor de la capa a estabilizar.

Para realizar el diseño de la capa subrasante a estabilizar además de cumplir con el CBR mínimo necesario como subrasante se ha tomado en cuenta dos parámetros de diseño, siendo el primero en base a un similar porcentaje de cemento para todos los suelos donde se cumplan los requisitos mínimos para el suelo más crítico, y otro para un porcentaje mínimo de cemento donde cumpla los requisitos mínimos para cada tipo de suelo.

4.1.7.1 Diseño 1

En base a los resultados CBR el porcentaje de cemento necesario para que cumpla en toda la longitud de vía es de 4%.

Tabla 7

Diseño 1 con similar porcentaje de cemento para todos los suelos

SUELO	%CMNT.	%CBR	%Hinch.	Espesor (cm)
Tipo 1	4	68,29	0,62	8,29
Tipo 2	4	85,43	0,10	8,01
Tipo 3	4	33,48	0,37	9,24
Tipo 4	4	71,76	0,23	7,82



Figura 14 Espesor de la capa estabilizada para el diseño 1

4.1.7.2 Diseño 2

Se realiza el diseño en base a los parámetros básicos necesarios de cada suelo, con el fin de economizar el diseño.

Tabla 8

Diseño 2 con distinto porcentaje de cemento para todos los suelos

SUELO	%CMNT.	%CBR	%Hinch.	Espesor (cm)
Tipo 1	3	44,45	0,62	8,29
Tipo 2	2	50,03	0,17	8,04
Tipo 3	4	33,48	0,37	9,24
Tipo 4	2	35,01	0,54	9,06

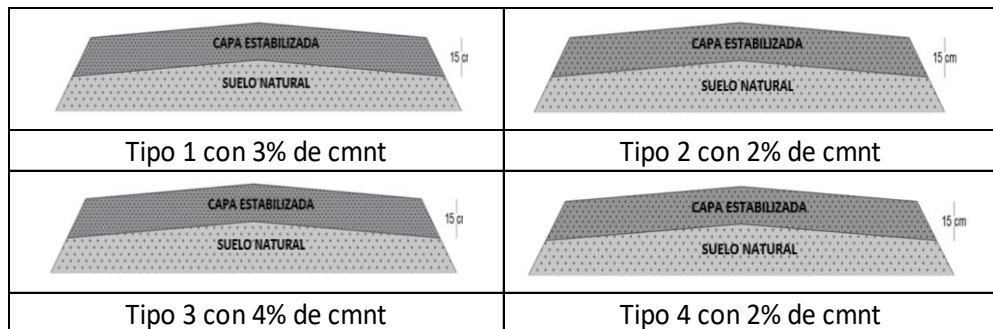


Figura 15 Espesores de las capas estabilizada para el diseño 2.

Para ambos diseños se puede observar que la capa a estabilizar es muy delgada pero debido a parámetros de diseño no podemos construir una capa que sea inferior a los 15 centímetros por lo cual se ha tomado esta medida como base para ambos diseños.

4.1.8 Costo del mantenimiento vial

Es necesario conocer cuál es el costo de material, mano de obra y maquinaria empleada en las operaciones de mantenimiento vial por lo que es necesario presentar los siguientes parámetros de los cuales se obtuvieron los precios unitarios:

Tabla 9

Costo unitario por kilómetro de vía de estabilización con cemento

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
1	Suministro de agente estabilizador (cemento)	936	sacos	\$ 7,50	\$ 7.020,00
	Transporte de cemento	936	saco	\$ 0,25	\$ 234,00
2	Colocación de agente estabilizador (cemento)	5000	m2	\$ 0,20	\$ 1.000,00
3	Escarificado con moto niveladora	5000	m2	\$ 0,22	\$ 1.100,00
4	Suministro de agua	134,85	m ³	\$ 3,10	\$ 418,04
5	Estabilización con cemento (incluye M.O, conformado y compactado)	5000	m2	\$ 1,11	\$ 5.550,00
				TOTAL	\$ 15.322,04

4.1.8.1 Diseño 1

Tabla 10

Costo de la estabilización con similar porcentaje de cemento

SUELO	%Cmnt	Costo por Km	Costo anual promedio	Longitud (km)	Costo total (5 años)	Costo total prom. anual
Tipo 1	4	\$ 15.322,04	\$ 3.064,41	6,843	\$ 104.848,69	\$ 20.969,74
Tipo 2	4	\$ 15.322,04	\$ 3.064,41	3,865	\$ 59.219,67	\$ 11.843,93
Tipo 3	4	\$ 15.322,04	\$ 3.064,41	0,767	\$ 11.752,00	\$ 2.350,40
Tipo 4	4	\$ 15.322,04	\$ 3.064,41	2,325	\$ 35.623,73	\$ 7.124,75
					\$ 211.444,08	\$ 42.288,82

4.1.8.2 Diseño 2

Tabla 11

Costo de la estabilización con mínimo porcentaje de cemento

SUELO	%Cmnt	Costo por Km	Costo anual promedio	Longitud (km)	Costo total (5 años)	Costo total prom. anual
Tipo 1	3	\$ 13.586,04	\$ 2.717,21	6,843	\$ 92.969,24	\$ 18.593,85
Tipo 2	2	\$ 11.850,04	\$ 2.370,01	3,865	\$ 45.800,39	\$ 9.160,08
Tipo 3	4	\$ 15.322,04	\$ 3.064,41	0,767	\$ 11.752,00	\$ 2.350,40
Tipo 4	2	\$ 11.850,04	\$ 2.370,01	2,325	\$ 27.551,33	\$ 5.510,27
					\$ 178.072,96	\$ 35.614,59

Podemos observar que el costo del Diseño 2 es más económico debido a que trabaja con diferentes porcentajes de cemento optimizando así el diseño constructivo; Por lo tanto, será el diseño escogido.

4.1.9. Optimización de tiempos en mantenimiento vial

Para verificar si realmente existe una optimización en el mantenimiento vial se hace una comparativa con un proceso de mantenimiento más general como el lastrado con la estabilización con cemento.

4.1.9.1 Costo de la vía por lastrado

Para obtener el costo de la vía por lastrado se tomó los valores de un proyecto de mantenimiento por lastrado de una vía similar en el portal se compras públicas SERCOP.

Tabla 12

Costo unitario por kilómetro lastrado

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNIT	COSTO TOT
TRABAJOS DE LASTRADO					
1	Reconformación sin lastre	5000	m ²	\$ 0,34	\$ 1.700,00
2	Material lastre (minado y cargado)	512	m ³	\$ 3,00	\$ 1.536,00
3	Transporte de material	512	m ³ - km	\$ 0,23	\$ 117,76
4	Lastrado (tendido, conformado y compactado)	5000	m ²	\$ 0,52	\$ 2.600,00
TOTAL					\$ 5.953,76

Según el trabajo de (Morocho Adrianzen & Casaverde Farfan, 2022) en un trabajo de lastrado se necesita de la intervención de mínimo 2 veces por año.

Tabla 13

Mantenimientos al año de lastrado

Mantenimientos al año	2
Costo total al año por km	\$ 11.907,52

Una vez obtenido el costo al año por km de vía se procede a encontrar el valor total por mantenimiento de la vía mencionada en toda su extensión de análisis.

Tabla 14

Costo del lastrado de la vía

SUELO	Costo por km	Costo anual (km)	Longitud (km)	Costo total	Costo total anual	Costo a los 5 años
Tipo 1	\$ 5.953,76	\$ 11.907,52	6,843	\$ 40.741,58	\$ 81.483,16	\$ 407.415,80
Tipo 2	\$ 5.953,76	\$ 11.907,52	3,865	\$ 23.011,28	\$ 46.022,56	\$ 230.112,82
Tipo 3	\$ 5.953,76	\$ 11.907,52	0,767	\$ 4.566,53	\$ 9.133,07	\$ 45.665,34
Tipo 4	\$ 5.953,76	\$ 11.907,52	2,325	\$ 13.842,49	\$ 27.684,98	\$ 138.424,92
				\$ 82.161,89	\$ 164.323,78	\$ 821.618,88

4.1.9.2 Inversión en vía lastrada vs vía estabilizada

Para hacer una comparativa del costo que será invertido en la vía se hace una proyección de mantenimientos necesarios en 10 años.

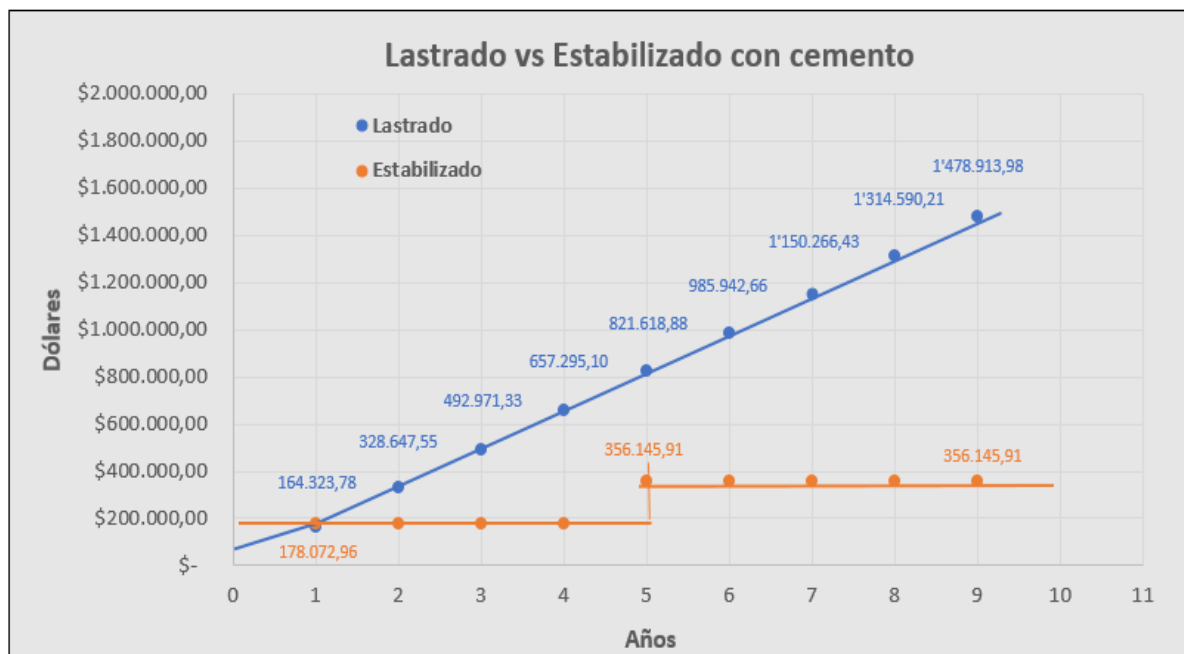
**Figura 16** Comparativa temporal entre la inversión de una vía lastrada vs una estabilizada con cemento

Tabla 15

Diferencia de inversión entre una vía lastrada vs una estabilizada con cemento.

TIPO	Inversión Inicial	Porcentaje	Inversión Anual	Porcentaje	Inversión 5 años	Porcentaje	Inversión 10 años	Porcentaje
Lastre	\$ 82.161,89	117%	\$ 164.323,78	8%	\$ 821.618,88	-57%	\$ 1.643.237,76	-78%
Estabilizado	\$ 178.072,96		\$ 178.072,96		\$ 356.145,91		\$ 356.145,91	
Ahorro	-\$ 95.911,07		-\$ 13.749,18		\$ 465.472,97		\$ 1.287.091,85	

De la Tabla 15 podemos apreciar que en una inversión inicial el costo de estabilización con cemento es 117% superior al lastrado, para el año la inversión en estabilización sigue siendo superior en un 8% respecto al lastrado, para un periodo de 5 años la estabilización con cemento presenta un ahorro de 57% respecto al lastrado, para el año 10 podemos ver un ahorro del 78% respecto al lastrado, siendo el estabilizado la opción más económica a largo plazo.

Como se hizo mención anteriormente el suelo estabilizado con cemento tiene una duración de 5 años sin presentar problemas a nivel de servicio por lo que el mantenimiento periódico será mínimo y, respecto al lastrado el mantenimiento será menos costoso.

4.2. Discusión

4.2.1. Porcentaje de cemento necesario

Los suelos encontrados en la vía de análisis contienen características muy favorables naturalmente para ser tomados como subrasante como se muestra en la siguiente tabla de resumen.

Tabla 16

Resumen de las características mecánicas de los suelos

Suelo	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Extensión (km)	6,843	3,865	0,767	2,325
SUCS	SM-u	SM-CL	SW	SM-d
AASHTO	A-4	A-4	A-1-b	A-4
Densidad seca Máx. (g/cm ³)	1,488	1,912	1,431	1,693
Humedad Óptima	22,80%	9,99%	23,51%	17,98%
CBR _{95%}	16,63%	23,51%	27,60%	33%

Donde se puede observar que el suelo Tipo 1 es de condición “subrasante buena”, el suelo Tipo 2 y 3 como “subrasante muy buena” y el suelo Tipo 4 como “subrasante excelente” según la Tabla 3.

Dadas las características iniciales de los suelos, estos parecen no requerir de la adición de cemento, especialmente el suelo Tipo 4. Sin embargo, es crucial reconocer que la mejora en las propiedades del suelo estabilizado resulta beneficiosa para la infraestructura vial. La inclusión de cemento no solo fortalece la capacidad de carga de la vía, sino que también disminuye la necesidad de intervenciones de mantenimiento, reduciendo así el tiempo y los recursos invertidos en dichas labores. Es necesario la adición de mínimo 2% de cemento para la estabilización de suelo.

4.2.2. Costo de mantenimiento

Para realizar el diseño del espesor de la capa que se va a utilizar en la vía de mantenimiento se hace uso de la ecuación del método NAASRA, que se encuentra dentro del manual para el diseño de carretas no pavimentadas de bajo volumen de tránsito presente en la normativa peruana del MTC, se prioriza por este método ya que no existe un diseño específico de subrasante, en su lugar, se considera la subbase de un diseño de pavimento flexible.

Respecto al lastrado podemos ver un importante cambio en las intervenciones necesarias para mantener una vía en condiciones óptimas, siendo necesarias 9 intervenciones respecto a la única intervención de suelo estabilizado con cemento en un lapso de 5 años.

Los resultados de los presupuestos de mantenimiento presentados no hacen mención a los mantenimientos periódicos ya que son mínimos e iguales en ambos casos y están representados con actividades como: limpieza de cunetas, sellado de fisuras y de señalética.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones

- En base a la carta Geológica de 1978 obtenida por el departamento de ordenamiento territorial del GAD de Riobamba, se sabe que en la vía Pungalá – Alao existe presencia de piroclastos y lodo volcánico del volcán Altar seguido de filitas, meta volcánica y series Paute.
- Una vez procesado los datos obtenidos por el Geogauge, se definió de manera más clara los tramos de vía en conformidad a valores de CBR y de módulo resiliente (Mr).
- Tomadas las muestras de suelo se realizaron los ensayos pertinentes a la caracterización de suelos y, se obtuvo como resultado 4 estratos diferentes, los cuales pertenecen según clasificación SUCS a arenas limosas (SM-u., SM-d.), arena limo arcillosa (SM-CL) y una arena bien graduada (SW) y, según clasificación AASHTO de tipo A-4 (suelos limosos) y de tipo A-1-b (suelo con fragmentos de roca, grava y arena), que luego de un ensayo CBR se pudo determinar que son suelos de capacidad como subrasante buena, muy buena y excelente.
- En la adición de 2% cemento al suelo de tipo 2 y 4 se pudo observar primeramente que se controla favorablemente el porcentaje de hinchamiento en un 78% y 98% al ser sumergido en el agua, mientras que para el tipo 1 y 3 hace falta de un porcentaje superior (3% y 4%) para reducir favorablemente el hinchamiento en 74% y 79% respectivamente, ya que el cemento al estar mezclado de forma homogénea forma un tipo esqueleto que cohesiona las partículas evitando la entrada de agua y que se hinche el suelo; Y, luego del ensayo CBR se pudo observar también un incremento importante en la capacidad de soporte del suelo.
- Para ese tipo de suelos debido a su condición inicial de subrasantes buenas a excelentes la adición de cemento se hace mínima, utilizando valores de 2% a 4% para obtener las características óptimas de un suelo estabilizado con cemento.
- Es importante controlar el porcentaje de cemento que va a usar en la mezcla, ya que un porcentaje muy bajo no actuará de manera eficiente sobre suelo y un porcentaje alto hará que la mezcla sea muy rígida, generando fisuras en corto tiempo.
- Aunque por fórmula se obtenga espesores menores a 15 cm, constructivamente se debe diseñar para cada tramo una capa estabilizada con cemento con mínimo 15 cm.
- La inversión inicial de una estabilización con cemento resulta ser 117% superior a una de lastrado, para el año el valor de la estabilización sigue siendo superior en 8% respecto al lastrado, ya para los 5 años se obtiene un ahorro de 57% respecto al lastrado y para los 10 años un ahorro del 78% respecto al lastrado, esto debido a que la inversión de una estabilización de suelo con cemento se realiza cada 5 años gracias a su durabilidad, y los mantenimientos por lastrado se realizan como mínimo 2 veces al año.

- Se convierte entonces la estabilización con cemento en una alternativa viable, que reduce las intervenciones de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la vía, siendo necesaria de una sola intervención fuerte para que en un lapso de 5 años la vía se mantenga en condiciones óptimas respecto a las 9 intervenciones necesarias en el lastrado.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar los ensayos desde límites de Atterberg con la mezcla de suelo cemento, ya que el cemento altera las propiedades del suelo como la humedad óptima y la densidad máxima necesarias para el ensayo CBR.
- Se recomienda el uso combinado de cemento con cal como estabilizadores en el caso que posea humedad muy alta, ya que la cal controla la humedad y aporta con resistencia al suelo.
- Se recomienda el uso de una capa de 5 cm de material bituminoso para el control de fisuras
- Realizar los estudios de durabilidad con la máquina de abrasión los Ángeles, para determinar la resistencia al desgaste mediante estudios de los suelos utilizados en la investigación
- Para el avance del estudio se recomienda investigar acerca de los impactos ambientales donde se tome en cuenta el ahorro en la producción de CO₂ de un suelo estabilizado con cemento respecto a un suelo lastrado.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia, A.-C. (2020, June 11). Más apoyo a vías terciarias del país con intercambio de conocimiento y trabajo conjunto con gobiernos locales. Vías Terciarias.
- Álvarez Pabón, J. A. (n.d.). PREPARACIÓN DE SUBRASANTES. INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO.
- ASTM. (2007). ASTM D1633-00 Standard test methods for Compressive Strength of molded Soil-Cement cylinders.
- ASTM. (2010). ASTM D4318-10e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- Botía Díaz, W., Castro Marzal, G., & García Manrique, J. R. (2015). Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo. Universidad Militar Nueva Granada.
- Buenaño Lascano, P. A. (2018). ANÁLISIS GEOLÓGICO Y GEOFÍSICO APLICADO A LA PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA ENTRE LAS LOCALIDADES DE RIOBAMBA Y PUNGALÁ. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Camargo Vasquez, S., & Duran Vergara, J. S. (2018). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE BAJA PLASTICIDAD MEDIANTE EL USO DEL CEMENTO PARA CAPA DE RODADURA EN VÍAS TERCIARIAS [UNIVERSIDAD DE CARTAGENA]. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/7089/TESIS%20FINAL.pdf?sequence=1>
- Celi Macías, A. A., Mendoza Alcívar, J. P., & Tejada Piusseaut, E. (2023). Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras viales del cantón Portoviejo. DOMINIO DE LAS CIENCIAS, 9(Ciencias Técnicas y Aplicadas), 1–15. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3184/7383>
- CEMEX. (2020). Cemex PE. <https://www.cemex.com.pe/>
- Club Expreso. (2017, April 7). El suelo cemento una solución eficiente para el mantenimiento vial. <https://www.expreso.ec/actualidad/suelo-cemento-solucion-eficiente-mantenimiento-vial-67186.html?register=google>
- Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador [CONGOPE]. (2019). Plan de Desarrollo Vial Integral de la Provincia de Chimborazo. Plan Vial Integral Chimborazo.

- Crespo Villalaz, C. (2004). MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES (N. E. LIMUSA, Ed.; 5a ed.). EDITORIAL LIMUSA, S.A. DE C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.
- Das, B. M. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. CENGAGE Learning, Séptimo.
- Das, B. M. (2013). Fundamentos de ingeniería geotécnica. In S. R. Cervantes González (Ed.), Fundamentals of Geotechnical Engineering, (4th Edition, pp. 64–65). Cengage Learning © 2013. <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2022/01/fundamentos-de-ingenieria-geotecnica-BMD.pdf>
- Dirección General de Geología y Minas. (1978). MAPA GEOLÓGICO DEL ECUADOR.
- Duque Escobar, G., & Escobar Potes, C. E. (2002). Mecánica de los suelos. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3375>
- Duque, J., Vásquez, B., & Orrego, J. (2019). MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN VÍAS DE TERCER ORDEN. UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA, Facultad de Ingenierías-Ingeniería Civil.
- ESTABILIZACION DE SUELOS PARA PAVIMENTOS. (n.d.). Estabilización de Suelos. Retrieved January 24, 2024, from <https://laultimaresistencia.weebly.com/uploads/6/8/2/7/6827657/35580425-estabilizacion-de-suelos.pdf>
- FICEM, F. I. del C. (2007). EL ESTADO DEL ARTE DEL SUELOCEMENTO EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS. Uso Del Suelo-Cemento En Estructuras de Pavimentos, I, 11–14.
- Flores, E. (2019). Revelando el sistema de carreteras en Ecuador. Anotaciones sobre La ordenación de la red vial. El cantón de Cuenca (2016).: Vol. Vol. XIII (J. L. Crespo-Fajardo, Ed.; N°19). Universidad de Cuenca (Ecuador).
- Gavilanes Bayas, E. Giovanni. (2015). Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur [UIDE, Universidad Internacional del Ecuador]. <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2191>
- Gualli Guaman, L. E. (2022). VALORACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS ALAO Y MAGUAZO DE LA PARROQUIA PUNGALÁ, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Herrera Alvarez, Y. G., & Mejía Niño, M. A. (2016). CLASIFICACION DE LA FRACCION FINA DE MATERIALES PROVENIENTES DEL RIO GUAYURIBA EN LA CIUDAD

DE VILLAVICENCIO – META, A PARTIR DE SU VALOR DE AZUL DE METILENO Y SU RELACIÓN CON LA CLASIFICACIÓN POR EL SISTEMA UNIFICADO Y SISTEMA AASHTO. [PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA].
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/aaf6e630-72c7-4b68-ab34-699bf4f19263/content>

Holcim Ecuador S.A. (2016). Soluciones en cemento. Holcim Base Vial.

https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/images/base_vial_v2.pdf

Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Ministerio de Transporte, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

ISCYC, I. S. del C. y del C. (2008, March). Suelo - Cemento 1a parte. INGENIERÍA.

<https://www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm>

Kreamer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M. G., Sánchez Blanco, V., & del Val, M. Á. (2004). Ingeniería de Carreteras: Vol. Volumen II (Concepción Fernández Madrid, Ed.). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.

Laguros, J. G., & Davidson, D. T. (1962). Effect of Chemicals on Soil-Cement Stabilization.

<https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com.pe/&httpsredir=1&article=3060&context=rtd>

Montejo, A. (2002). Ingeniería de pavimentos (Agora Editores, Ed.; Segunda Edición). Universidad Católica de Colombia.

https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fonseca

Morocho Adrianzen, F. C., & Casaverde Farfan, G. F. (2022). Diseño y aplicación de base estabilizada con cemento, producida en planta de suelos para el tramo 2 de la carretera departamental costanera II [Universidad de Piura].

<https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/54f41b99-7b32-4480-b293-f0f5ba24f802/content>

MTC. (2008). MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO.

MTC. (2014). Manual de carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos.

NEVI-12 - MTOP. (2013a). MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE: Vol. VOLUMEN II. REPUBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES. Secretaría de Infraestructura del Transporte.

- NEVI-12 - MTOP. (2013b). NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑO VIAL: Vol. VOLUMEN N°2 (Libro B). REPUBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES.
- Niño Sana, J. L. (2015). ESTUDIO DE SUELOS Y ANALISIS GEOTÉCNICO DEL SECTOR UBICADO EN EL K4+180 DE LA VIA PUENTE REYES-GAMEZA. [UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA].
<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/1586/TGT-321.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Olarte Carpio, L. (2019). MECÁNICA DE SUELOS APLICADA A LA VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA PARA CIMENTACIONES A EMPLEARSE EN LOS TALLERES PRODUCTIVOS DEL E.P. CUSCO – VARONES [UNFV-Institucional, Universidad Nacional Federico Villarreal].
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3208>
- PCA. (1992). Soil-Cement for Facing Slopes, and Lining Reservoirs, Channels, and Lagoons.
- Pezo Saavedra, C. V. (2018). “COSTOS, PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN DE OBRA: MANTENIMIENTO PERIÓDICO DEL CAMINO VECINAL SHAMBOYACU – CHAMBIRA - VISTA ALEGRE – DISTRITO DE SHAMBOYACU, PROVINCIA DE PICOTA, SAN MARTÍN [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/2640/1/CIVIL%20-%20Cecilia%20Vanessa%20Pezo%20Saavedra.pdf>
- Rezabala Leones, D. M., & Ortiz Hernández, E. (2023). Propuesta de estabilización con cal y cemento para subrasante con presencia de suelos arcillosos ubicada en la via tosa-guachone sector bachillero. DOMINIO DE LAS CIENCIAS, 9(Ciencias de la Educación), 1–18. <https://dominodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3534/7805>
- Sierra Pérez, E. E., & Varela Paternina, M. A. (2012). CORRELACION ENTRE EL METODO GEOGAUGE Y EL METODO DEL CONO DE ARENA PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL SUELO EN CAMPO [UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC].
<https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/845/TESIS%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silva, J. O. (2020). CONOCIENDO LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO: ¿QUÉ Y CÓMO? ARGOS 360 EN CONCRETO.
- Sowers, G. B., Sowers, G. F., & Menéndez Menéndez, J. (1972). Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones. Centro Regional de Ayuda Técnica.
<https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UP.37314>

- Toirac Corral, J. (2008). EL SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. *Ciencia y Sociedad*, XXXIII, 520–571.
- USACE (US Army Corps of Engineers, E. U. de A. (1984). Soil Stabilization for Pavements Mobilization Construction.
https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-3-137.pdf?ver=2013-09-04-070839-903
- U.S.Department of Transportation. (1992). Soil and Base Stabilization and Associated Drainage Considerations.
- UTC. (2016). Área Construcción; Clasificación de Suelos. UTC.
- Valdivia Cariat, J. A. (2016). Factibilidad de implementación del material suelo-cemento como material de construcción para viviendas de bajo costo en el Perú [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ].
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/7401>
- Zambrano Bravo, T. V., & Zambrano Meza, M. I. (2023). ESTABILIZACIÓN DE SUELO CON CAL Y CEMENTO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE [Universidad Técnica de Manabí].
<https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/395/666>

ANEXOS

1. Certificados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL

Riobamba, 02 de febrero de 2024

CERTIFICADO

A petición verbal del Sr. Jara Paéz Edwin Andrés con C.I. 060506060-7, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, debo certificar que el Sr. Jara, durante los meses de marzo, abril mayo, junio, septiembre del año, realizó los ensayos que se detallan a continuación:

- Granulometría de agregados finos
- Límites de Atterberg
- Póctor Modificado
- Ensayos con equipos GEOGAUGE
- Ensayos CBR

Los ensayos antes mencionados fueron ejecutados en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, como parte del Proyecto de Investigación: "Reducción de tiempos en mantenimiento vial en vías de tercer orden del cantón Riobamba mediante estabilización de Sub rasante".

Es todo lo que puedo informar, pudiendo el interesado hacer uso del presente certificado como creyera conveniente.

Atentamente,


Ing. María Cristina Polo Funes
TÉCNICA DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL
UNACH



Campus Universitario Ms.C. Edison Riera R.
Av. Antonio José de Sucre Km. 1 1/2 vía a Guano
Teléfono: (593)33730880 Ext: 1428
RIOBAMBA - CHIMBORAZO - ECUADOR

Tecnología, Humanismo y Calidad

Anexo 1 Certificado de ensayos en laboratorio

2. Salida con el equipo Geogauge



Anexo 3 Equipo Geogauge



Anexo 2 Toma de datos suelo tipo 1



Anexo 4 Toma de datos suelo tipo 2



Anexo 5 Toma de datos al talud

3. Toma de muestras



Anexo 9 Toma de muestra calicata 2
(Arena G, A)



Anexo 8 Toma de muestra calicata 1
(Arena Café)



Anexo 7 Toma de muestra calicata 3
(Arena Agg)



Anexo 6 Toma de muestra calicata 4
(Arena Negra)

4. Ensayo Granulométrico



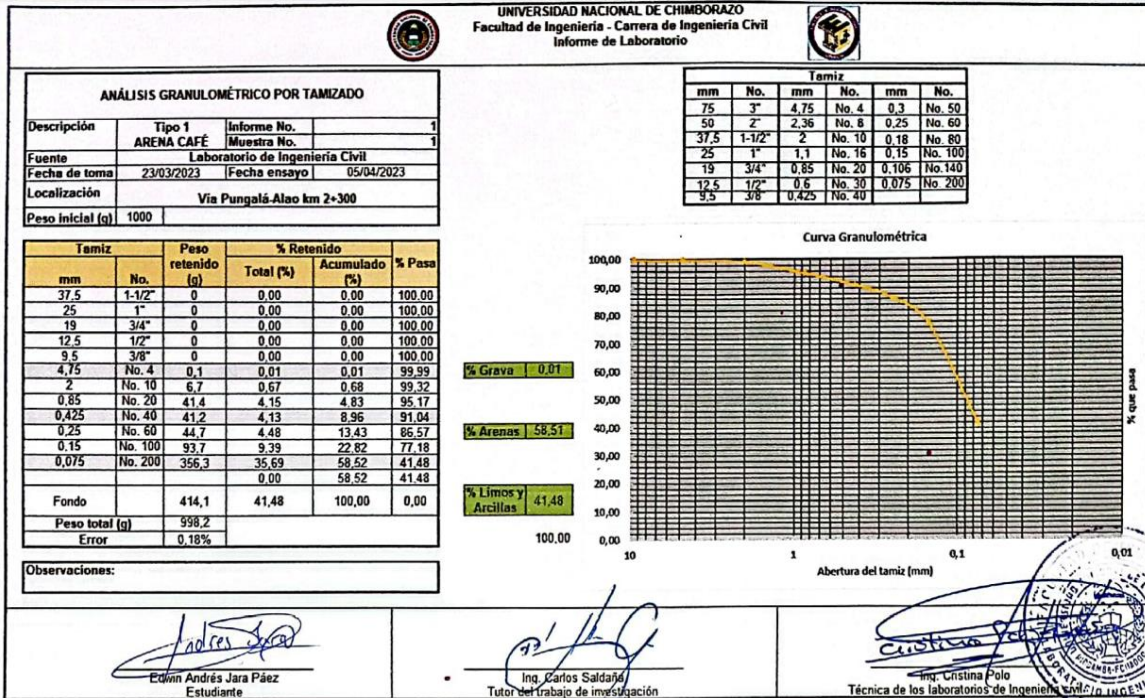
Anexo 10 Preparación de muestras



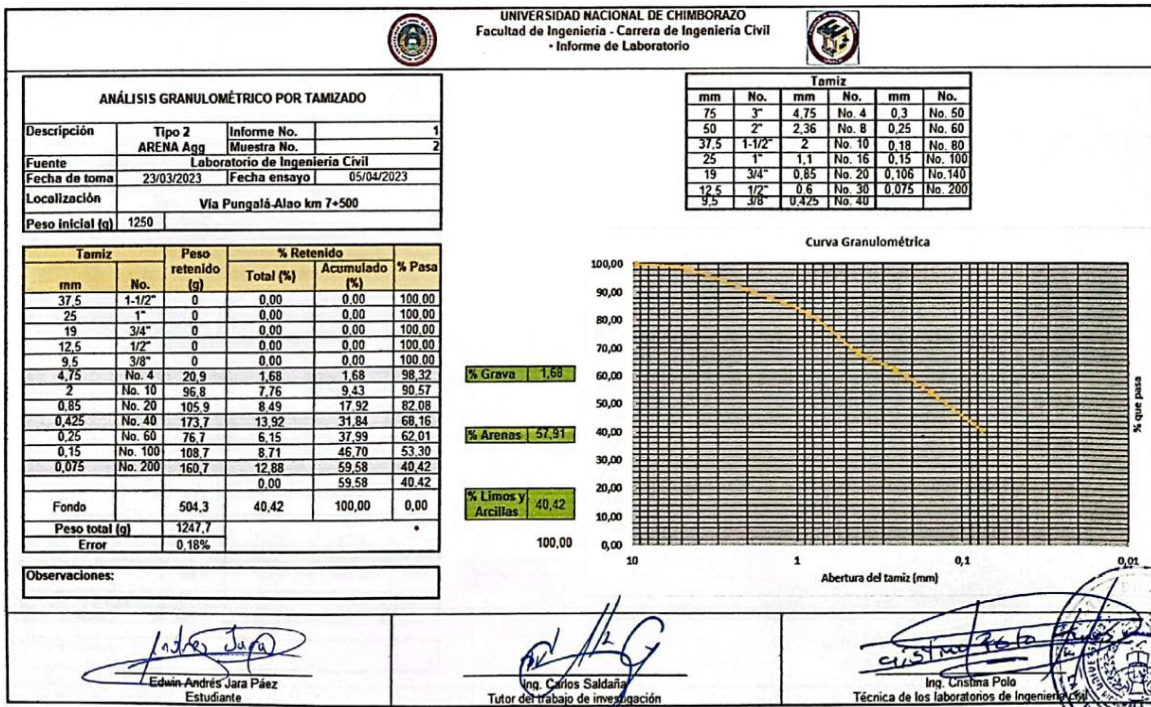
Anexo 11 Tamizado de las muestras



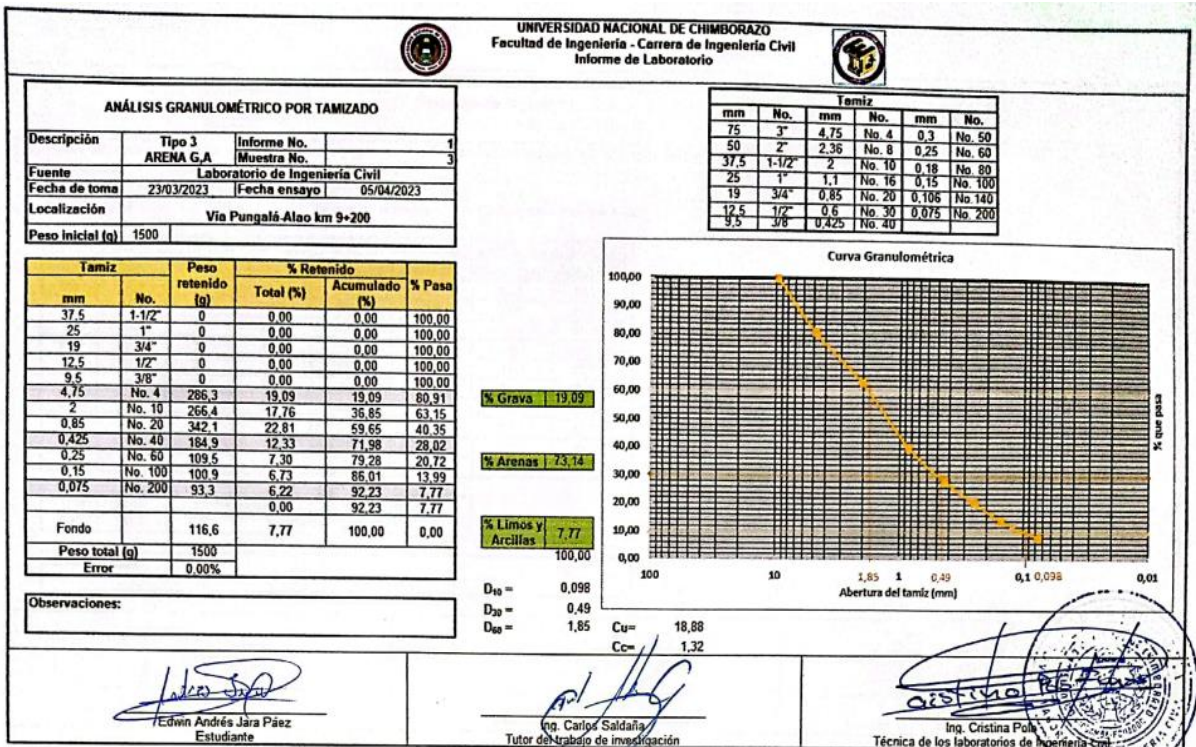
Anexo 12 Pesado del material retenido por cada tamiz



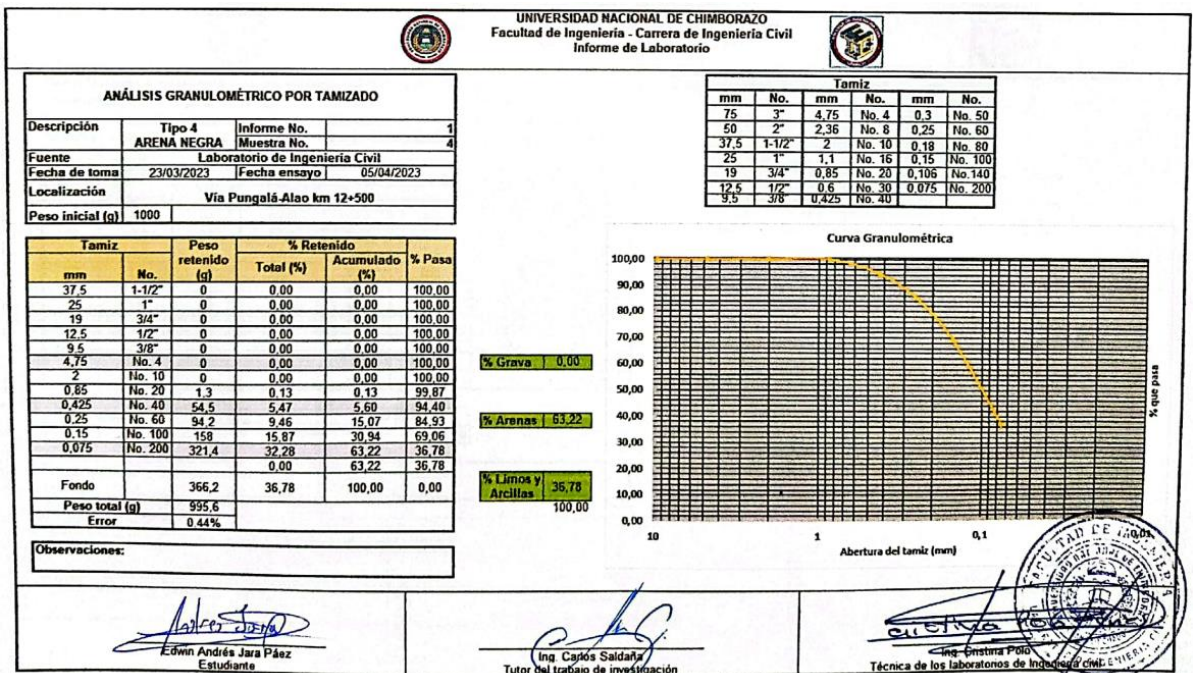
Anexo 13 Ensayo granulométrico suelo tipo 1



Anexo 14 Ensayo granulométrico suelo tipo 2



Anexo 15 Ensayo granulométrico suelo tipo 3



Anexo 16 Ensayo granulométrico suelo tipo 4

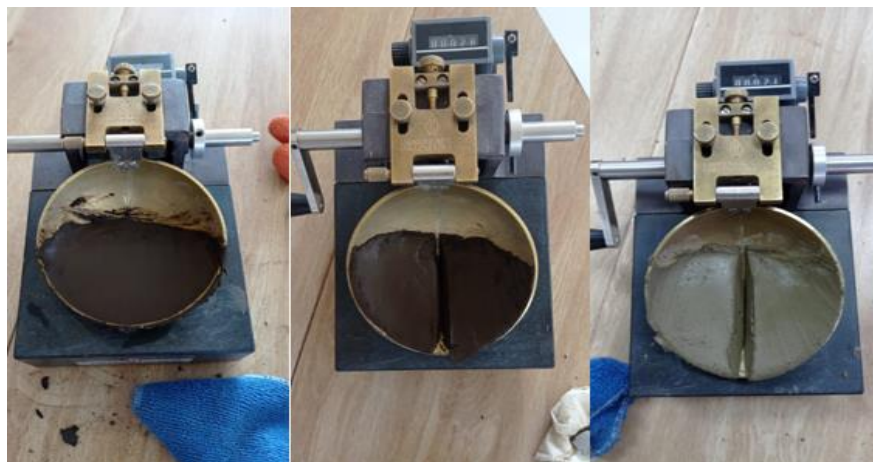
5. Ensayo de límites de Atterberg



Anexo 17 Preparación de muestras



Anexo 18 Calibración y preparación del equipo de Casagrande



Anexo 19 Ensayo de límite líquido



Anexo 20 Ensayo de límite plástico



Anexo 21 Secado de las muestras para contenido de humedad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

Tema: "Reduccion en tiempos en mantenimiento vial de las vías de tercer orden del cantón Riobamba mediante estabilización de subrasante"

Descripción: Tipo 1 Arena Café **Informe No. 2**
Fuente: Laboratorio de Ingeniería Civil **Muestra No. 1**
Tamaño de Muestra: 200 g **Origen de muestra:** Vía Pungala - Alao Km 2+300

Tara	Peso Tara (g)	N° Golpes	Peso Humedo (g)	Peso Seco (g)	Masa del agua (g)	Masa suelo seco (g)	Contenido de agua (%)
V8	14,4	16	32,1	27,5	4,6	13,1	35,11%
E7	14,3	16	24,2	21,6	2,6	7,3	35,62%
E4	15,4	35	27,5	24,4	3,1	9	34,44%
V10	14,1	35	24,9	22,1	2,8	8	35,00%
B1	14,6	28	29,6	25,8	3,8	11,2	33,93%
E6	18,5	28	38,3	33,1	5,2	14,6	35,62%
H5	17,5	19	39,7	33,7	6	16,2	37,04%
V2	14,7	19	33,4	28,3	5,1	13,6	37,50%
V9	15,2	LP	19	18,1	0,9	2,9	31,03%
E3	14,6	LP	18,7	17,7	1	3,1	32,26%

Límite líquido	Límite plástico	Índice Plástico			
LL	32,85%	LP	30,28%	LP	2,57%

Observaciones:

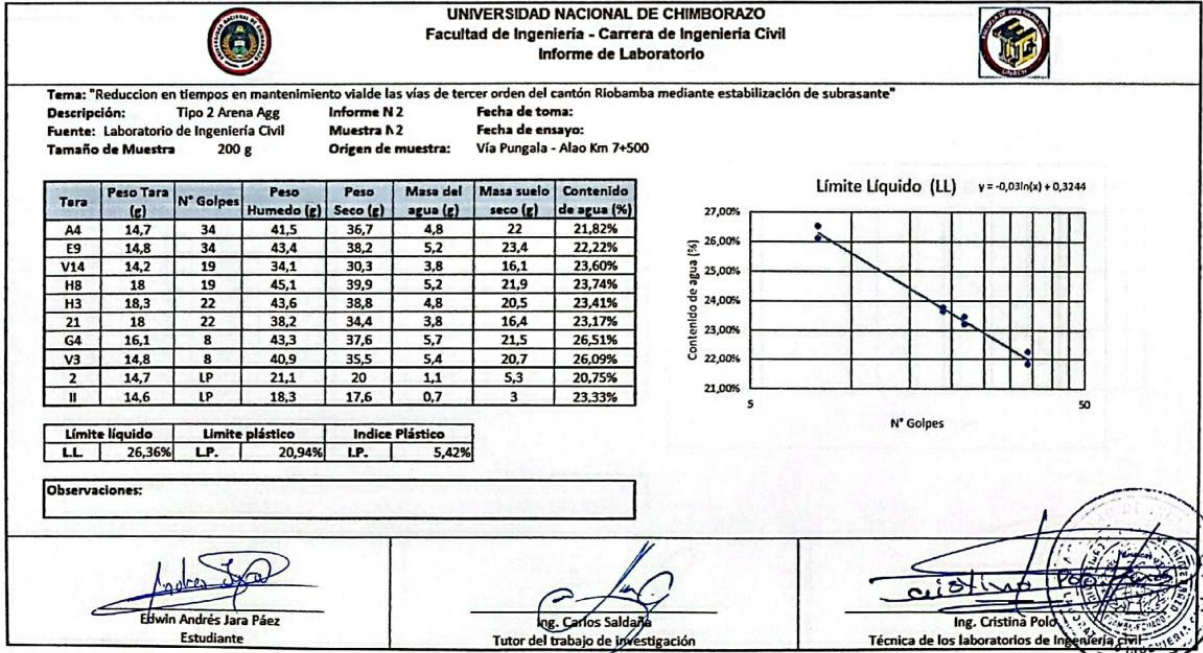
Edwin Andrés Jara Páez
Edwin Andrés Jara Páez
Estudiante

Carlos Saldajia
Ing. Carlos Saldajia
Tutor del trabajo de investigación

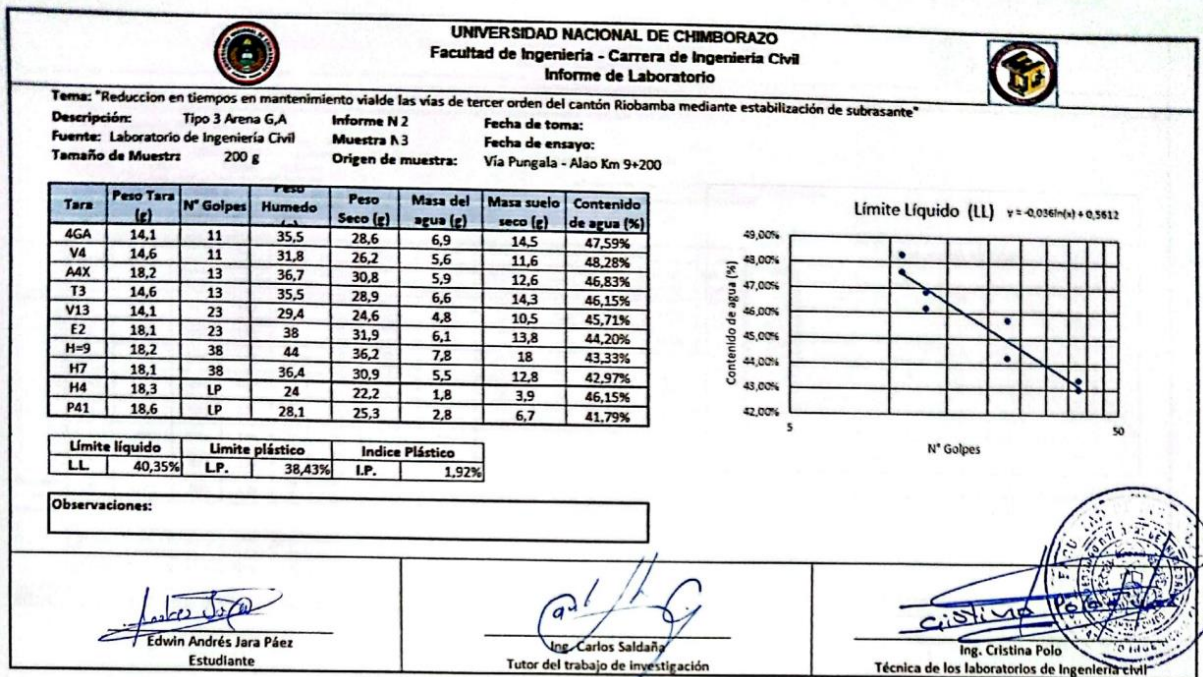
Cristina Roldán
Ing. Cristina Roldán
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Límite Líquido (LL) $y = -0,027x + 0,418$

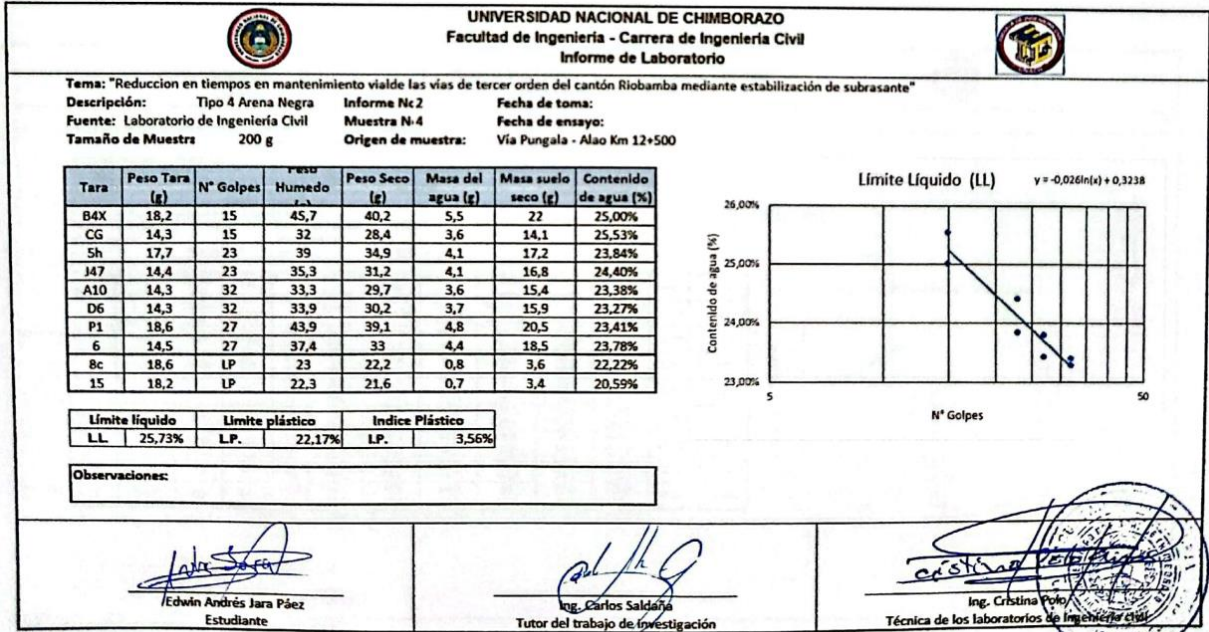
Anexo 22 Ensayo de límites de Atterberg suelo tipo 1



Anexo 23 Ensayo de límites de Atterberg suelo tipo 2



Anexo 24 Ensayo de límites de Atterberg suelo tipo 3



Anexo 25 Ensayo de límites de Atterberg suelo tipo 4

6. Ensayo de Proctor Modificado (Método A)



Anexo 27 Pesado de la muestra



Anexo 26 Pesado del molde sin collarín



Anexo 29 Pesado del molde con collarín



Anexo 28 Compactado de las muestras

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

PROCTOR MODIFICADO

Tema: "Reducción en tiempos en mantenimiento vial de las vías de tercer orden del cantón Piobamba mediante estabilización de subbase"

Tipo de muestra: Arena Calé

Tamaño de la muestra: 5000 g Peso del martillo: 24,5 KN

% agua: 3% Caida: 30,48 cm

5 capas de 25 golpes cada una con el martillo estándar

Peso del molde: 4200 g Altura del molde: 11,643 cm

Volumen del molde: 943,94 cm³ Diámetro del molde: 10,16 cm

Energía de compactación:
 $E = \frac{\#Golpes \times \#Capas \times \text{Peso Martillo} \times \text{Altura de caída}}{\text{Volumen de la muestra}}$

Muestra	Peso del molde más suelo [g]	Peso del Suelo [g]	Ym [g/cm ³ o (t/m ³)	Tara	Peso Tara [g]	Peso Tara + Suelo [g]	Peso Tara + Suelo Seco [g]	Peso suelo húmedo (Wh) [g]	Peso suelo seco (Wd) [g]	Porcentaje de humedad (w) [%]	Promedio de w [%]	Vd [g/cm ³ o (t/m ³)
Suelo seco	5428	1228	1,30	A4	14,7	43,3	41,7	28,6	27	5,33%	5,58%	1,23
				V3	14,8	40,3	39,6	26,1	24,8	5,24%		
				E4	15,3	43,6	46,3	34,3	31,6	8,54%	8,33%	1,26
Saturado sin compactar	5492	1232	1,37	E9	14,8	42,8	40,7	28	25,9	8,1%		
				V8	14,6	39,1	36,5	24,5	21,9	11,87%	12,3%	1,31
				E7	14,3	42,8	39,1	28,5	24,8	14,52%	15,34%	1,36
Saturado sin compactar	5591	1391	1,47	V8	14,7	46,3	42	31,6	27,3	15,75%		
				V9	15,2	42,6	36	27,4	22,8	20,16%	20,30%	1,47
				E6	14,5	49,3	43,4	34,9	29,9	20,42%	25,48%	1,47
Saturado sin compactar	5676	1476	1,56	V2	14,7	57,2	48,6	42,5	33,9	25,37%	25,48%	1,47
				E3	14,5	41,5	36	27	21,5	25,52%	32,46%	1,34
				V4	14,1	56,9	46,4	42,8	32,3	32,5%	36,42%	1,28
Saturado sin compactar	5845	1645	1,74	H8	18	44,9	37,7	26,9	19,7	36,55%		
				V1	18,1	57,9	47,3	39,8	29,2	36,30%		

Densidad seca máxima: 1,488 g/cm³ t/m³

Humedad Óptima = 22,8 %

Energía de compactación: 98,89 (KN-cm)/cm³

Prueba Proctor Modificado

NOTA: Se realizó el ensayo de Proctor con el Método A

Edwin Andrés Jara Páez
 Estudiante

Ing. Carlos Saldaña
 Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo
 Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 30 Ensayo Proctor modificado suelo tipo 1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

PROCTOR MODIFICADO

Tema: "Reducción en tiempos en mantenimiento vial de las vías de tercer orden del cantón Riobamba mediante estabilización de subrasera"

Tipo de muestra: Arena Agg

Tamaño de la muestra: 5000 g Peso del martillo: 24,5 KN

% agua: 3% Caida: 30,48 cm

5 capas de 25 golpes cada una con el martillo estándar

Peso del molde: 4200 g Altura del molde: 11,643 cm

Volumen del molde: 943,94 cm³ Diámetro del molde: 10,16 cm

Energía de compactación:
 $E = \frac{\#Golpes \cdot \#Capas \cdot Peso\ Martillo \cdot Altura\ de\ caída}{Volumen\ de\ la\ muestra}$

Muestra	Peso del molde más suelo [g]	Peso del Suelo [g]	vm [g/cm ³ o t/m ³]	Tara	Peso Tara [g]	Peso Tara + Suelo [g]	Peso Tara + Suelo Seco [g]	Peso suelo húmedo (Wb) [g]	Peso suelo seco (Md) [g]	Porcentaje de humedad [w] [%]	Promedio de w [%]	γd [g/cm ³ o t/m ³]
Suelo seco	1	5868	868	P1	18,6	60,9	60,5	42,3	41,9	0,95%	0,9%	0,91
				A4X	18,2	53,1	52,8	34,9	34,6	0,87%		
				V13	14,1	56,6	56,5	44,5	42,4	4,95%	5,04%	1,01
Saturado sin	2	6000	1000	E2	18,1	63,2	61	45,1	42,9	5,13%		
				H7	18,1	60,1	57,2	42	39,1	7,42%	7,66%	1,08
				Sh	17,6	58,6	55,6	41	38	7,83%		
Saturado sin	3	6096	1096	4GA	14,1	53,9	50,2	39,8	36,1	10,26%	10,18%	1,14
				N14	18,4	65,2	60,9	46,8	42,5	10,12%		
				G4	16,1	52,6	47,6	36,5	31,5	15,87%	15,88%	1,11
Saturado sin	4	6217	1217	H4	18,3	70,1	63	51,8	44,7	15,88%		
				E3	14,6	59,9	51,8	45,3	37,2	21,77%	22,00%	0,96
				D6	14,3	56,1	48,5	41,8	34,2	22,22%		
Saturado sin	5	6108	1108	H-9	18,1	68,9	63	50,8	24,02%	24,24%	0,88	
	6	6007	1007	8c	18,6	82,2	69,7	63,6	51,1	24,46%		

Densidad seca máxima: 1,912 g/cm³ t/m³

Humedad óptima = 9,99 %

Energía de compactación: 98,89 (KN-cm)/cm³

Prueba Proctor Modificada

NOTA: Se realizó el ensayo de Proctor con el Método A

Edwin Andrés Jara Páez
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 31 Ensayo Proctor modificado suelo tipo 2

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

PROCTOR MODIFICADO

Tema: "Reducción en tiempos en mantenimiento vial de las vías de tercer orden del cantón Riobamba mediante estabilización de subrasera"

Tipo de muestra: Arena GA

Tamaño de la muestra: 5000 g Peso del martillo: 24,5 KN

% agua: 3% Caida: 30,48 cm

5 capas de 25 golpes cada una con el martillo estándar

Peso del molde: 4200 g Altura del molde: 11,643 cm

Volumen del molde: 943,94 cm³ Diámetro del molde: 10,16 cm

Energía de compactación:
 $E = \frac{\#Golpes \cdot \#Capas \cdot Peso\ Martillo \cdot Altura\ de\ caída}{Volumen\ de\ la\ muestra}$

Muestra	Peso del molde más suelo [g]	Peso del Suelo [g]	vm [g/cm ³ o t/m ³]	Tara	Peso Tara [g]	Peso Tara + Suelo [g]	Peso Tara + Suelo Seco [g]	Peso suelo húmedo (Wb) [g]	Peso suelo seco (Md) [g]	Porcentaje de humedad [w] [%]	Promedio de w [%]	γd [g/cm ³ o t/m ³]
Suelo seco	1	5451	451	E7	14,3	52,2	50,4	37,9	36,1	4,99%	4,88%	0,48
				V9	15,2	43,7	42,4	28,5	27,2	4,78%		
				B1	14,6	47	44,7	32,4	30,1	7,64%	7,83%	0,52
Saturado sin	2	5534	534	E9	14,8	59,6	53,5	41,8	38,7	8,01%		
				V8	14,3	57,1	52,5	43,4	38,2	13,61%	13,52%	0,61
				V14	14,1	52,1	47,6	38	33,5	13,43%		
Saturado sin	3	5725	725	E4	14,5	50,3	45,1	35,8	30,6	16,93%	17,06%	0,66
				E	14,5	62	54,9	48,4	39,6	17,17%		
				Sh	17,6	60,3	53,9	47,5	39,4	20,56%	19,00%	0,71
Saturado sin	4	5798	798	8	14,5	62	53,9	47,5	39,4	17,44%		
				V2	14,7	56,7	48,3	42	33,6	25,00%	24,96%	0,75
				Z	14,7	57,8	49,2	43,1	34,5	24,93%		
Saturado sin	5	5343	943	V3	14,8	57,1	47,2	42,3	32,4	30,56%	30,71%	0,76
				A4	14,7	49,9	41,6	35,2	29,9	30,89%		
				H8	18	73,5	59,3	55,4	41,2	34,47%	34,72%	0,70
Saturado sin	6	5887	887	H8	18	58,9	48,3	40,3	30,3	34,38%		
	7	5796	796	A4X	18,2	59,7	47,9	41,5	29,7	39,73%	39,83%	0,60
			4GA	14,1	55,1	43,4	41	29,3	39,93%			

Densidad seca máxima: 1,431 g/cm³ t/m³

Humedad óptima = 23,51 %

Energía de compactación: 98,89 (KN-cm)/cm³

Prueba Proctor Modificada

NOTA: Se realizó el ensayo de Proctor con el Método A

Edwin Andrés Jara Páez
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 32 Ensayo Proctor modificado suelo tipo 3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

PROCTOR MODIFICADO

Tema: "Reducción en tiempos en mantenimiento vial de las vías de tercer orden del cantón Píobamba mediante estabilización de subrasante"

Tipo de muestra: Arena Negra

Tamaño de la muestra: 5000 g **Peso del martillo:** 24,5 KN

½ agua: 3% **Caida:** 30,48 cm **Energía de compactación:**

5 capas de 25 golpes cada una con el martillo estándar

Peso del molde: 4200 g **Altura del molde:** 11,643 cm $E = \frac{\#Golpes \times \#Capas \times \text{Peso Martillo} \times \text{Altura de caída}}{\text{Volumen de la muestra}}$

Volumen del molde: 943,94 cm³ **Diámetro del molde:** 10,16 cm

Muestra	Peso del molde más suelo [g]	Peso del Suelo [g]	γ _m [g/cm ³] o [t/m ³]	Tara	Peso Tara [g]	Peso Tara + Suelo [g]	Peso Tara + Suelo Seco [g]	Peso suelo húmedo (t _h) [g]	Peso suelo seco (M _d) [g]	Porcentaje de humedad [%]	Promedio de w [%]	γ _d [g/cm ³] o [t/m ³]	
Suelo seco	1	5576	576	0,61	A4	14,7	49,5	48,5	34,7	34,1	2,05%	2,06%	0,60
	2	5582	582	0,62	V3	14,8	49,5	48,8	34,7	34	2,06%	2,06%	0,60
	3	5673	673	0,71	E4	14,8	50,1	48,4	35,3	37,4	5,08%	5,07%	0,59
Saturado an	4	5796	796	0,84	E9	14,8	50,1	48,4	35,3	37,4	5,08%	5,07%	0,59
	5	5895	895	0,95	B1	14,6	54,5	51,6	39,3	37	7,84%	7,80%	0,66
	6	6087	1087	1,15	V6	14,3	53,2	50,4	39,9	36,1	7,76%	7,80%	0,66
Saturado an	7	6014	1014	1,07	E7	14,3	51,5	48	37,2	33,7	10,39%	10,35%	0,76
	8	5937	937	0,93	Z	14,7	46,9	43,2	31,7	28	13,24%	13,43%	0,64
					V2	14,7	63	55,6	48,3	40,9	19,09%	19,04%	0,98
				E3	14,5	51,9	46,2	37,4	31,7	17,38%	17,38%	0,87	
				J	14,5	60,1	51,4	43,5	36,8	23,64%	23,53%	0,87	
				V14	14,1	68,8	56,8	52,7	42,7	23,42%	23,42%	0,77	
				H8	18	65,5	55,1	47,5	37,1	28,03%	28,10%	0,77	
				Z1	18,1	76,8	63,9	58,7	45,6	28,17%	28,10%	0,77	

Densidad seca máxima: 1,693 g/cm³ t/m³
Humedad Óptima: 17,98 %
Energía de compactación: 98,69 (KN-cm)/cm³

NOTA: Se realizó el ensayo de Proctor con el Método A

Edwin Andrés Jara Páez
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 33 Ensayo Proctor modificado suelo tipo 4

7. Ensayo CBR en suelos naturales



Anexo 34 Preparación de suelo y equipos para ensayo



Anexo 35 Compactación en molde CBR



Anexo 36 Ingreso de las muestras a la piscina CBR



Anexo 37 Chequeos del dial de deformación



Anexo 38 Penetración de muestras con equipo Marshall

ENSAYO CBR

Tipo: Arena Cal

DATOS INICIALES	
Peso de la muestra (g)	75
Diámetro del molde (m)	0.1024 m
Alura del molde (m)	0.127 m
Volumen del molde (m ³)	0.00233
Densidad aparente (g/cm ³)	3.49
Humedad (Opma (%)	22.50%
Peso de la muestra (kg)	3.42 kg

DENSIDAD SECA	
Módulo	C1 C2 C3
# de capas	5 5 5
# golpes por capa	10 25 50
Peso del molde (g)	7.917 7.917 7.942
Peso suelo + molde (g)	11.714 11.653 11.604
Peso del suelo compactado	3.797 3.733 3.662
Densidad Humada (g/cm ³)	1.645 1.615 1.584 5.32 5.67 5.50
Porcentaje de humedad (%)	27% 27% 27%
Densidad seca (g/cm ³)	1.295 1.295 1.300 1.305 1.305
Densidad Seca (g/cm ³)	1.293 1.300 1.300
SCBR	4.12 4.54 6.25

HINCHAMIENTO		
MOLDE	Fecha	X HINCHAMIENTO
A1	0.63 0.65 0.67 0.67 0.70	5.28
A2	0.58 0.6 0.61 0.65 0.64	4.64
A3	0.31 0.34 0.35 0.36 0.36	2.83

CORRECCION							
Penetración	Carga	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3			
m	Estándar	Bole	% Bole	% Bole	% Bole		
0.1	100	17.33	3.73	49.33	4.03	31.33	5.8
0.2	500	67.67	4.51	70.67	5.24	10.67	7.38
PROMEDIO		4.12		4.64		6.28	

CURVA		
Penetración (mm)	Carga (kN)	Estándar (kN/m ²)
0.025	25	9.33
0.050	50	18.67
0.075	75	28.00
0.100	100	37.33
0.150	150	56.00
0.200	200	74.67
0.250	250	93.33
0.300	300	112.00
0.400	400	149.33
0.500	500	186.67

CURVA		
Penetración (mm)	Carga (kN)	Estándar (kN/m ²)
0.025	30	12.00
0.050	60	24.00
0.075	90	36.00
0.100	120	48.00
0.150	180	72.00
0.200	240	96.00
0.250	300	120.00
0.300	360	144.00
0.400	480	192.00
0.500	600	240.00

CURVA		
Penetración (mm)	Carga (kN)	Estándar (kN/m ²)
0.025	25	9.33
0.050	50	18.67
0.075	75	28.00
0.100	100	37.33
0.150	150	56.00
0.200	200	74.67
0.250	250	93.33
0.300	300	112.00
0.400	400	149.33
0.500	500	186.67

RESULTADO:

Anexo 39 Ensayo CBR de suelo tipo 1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

ENSAYO CBR

Tipo: Arena Fina

DATOS INICIALES	
Peso de la muestra (g)	10
Diámetro del molde (m)	0.1024 m
Alura del molde (m)	0.127 m
Volumen del molde (m ³)	0.00233
Densidad aparente (g/cm ³)	3.38
Humedad (Opma (%)	3.99%
Peso de la muestra (kg)	1.267 kg

DENSIDAD SECA	
Módulo	C1 C2 C3
# de capas	5 5 5
# golpes por capa	10 25 50
Peso del molde (g)	7.950 7.956 7.974
Peso suelo + molde (g)	12.46 12.634 12.803
Peso del suelo compactado	4.502 4.678 4.855
Densidad Humada (g/cm ³)	1.943 2.015 2.087 5.50
Porcentaje de humedad (%)	29% 30%
Densidad seca (g/cm ³)	1.511 1.544 1.581 1.515 1.549
Densidad Seca (g/cm ³)	1.512 1.581 1.593
SCBR	2.37 6.75 22.87

HINCHAMIENTO		
MOLDE	Fecha	X HINCHAMIENTO
C1	1.31 1.34 1.34 1.36	10.56
C2	1.17 1.19 1.2 1.2 9.45	
C3	0.89 0.92 0.925 0.93 7.32	

CORRECCION							
Penetración	Carga	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3			
m	Estándar	Bole	% Bole	% Bole	% Bole		
0.1	100	21.33	2.13	65.00	6.50	22.00	22.00
0.2	500	35.00	2.80	105.00	7.00	350.00	23.33
PROMEDIO		2.37		6.75		22.87	

CURVA		
Penetración (mm)	Carga (kN)	Estándar (kN/m ²)
0.025	10	4.33
0.050	20	8.67
0.075	30	13.00
0.100	40	17.33
0.150	60	26.00
0.200	80	34.67
0.250	100	43.33
0.300	120	52.00
0.400	160	70.67
0.500	200	89.33

CURVA		
Penetración (mm)	Carga (kN)	Estándar (kN/m ²)
0.025	25	9.33
0.050	50	18.67
0.075	75	28.00
0.100	100	37.33
0.150	150	56.00
0.200	200	74.67
0.250	250	93.33
0.300	300	112.00
0.400	400	149.33
0.500	500	186.67

CURVA		
Penetración (mm)	Carga (kN)	Estándar (kN/m ²)
0.025	25	9.33
0.050	50	18.67
0.075	75	28.00
0.100	100	37.33
0.150	150	56.00
0.200	200	74.67
0.250	250	93.33
0.300	300	112.00
0.400	400	149.33
0.500	500	186.67

RESULTADO:

Anexo 40 Ensayo CBR de suelo tipo 2

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

ENSAYO CBR

Tipo Arena GA

DATOS INICIALES		MOGULP ESCALADA	
Peso de la muestra (kg)	0	Tara	Peso Tara
Clasura del molde (m)	0,624 m	Peso T+SA	Peso T+So
Altura del molde (m)	0,127 m	Peso SA (kg)	Peso So (kg)
Volumen del molde (m ³)	0,00033	HUMEDAD (to) (%)	
Densidad aparente (kg/m ³)	1433		
Humedad (Optima) (%)	23,5%		
Peso de la muestra tor (kg)	6,0563		

DENSIDAD SECA		HINCHAMIENTO	
Molde	E1 E2 E3	Fecha	% HINCHAMIENTO
E de capas	5 5 5	MOLE #	
E de espesor capa	5 5 5	MOLE #	
Peso del molde (kg)	7,966 7,962 7,968	MOLE #	
Peso suelo + molde (kg)	11,578 11,8 11,525	MOLE #	
Peso del suelo compactado	3,612 3,839 3,567	MOLE #	
Densidad Humedad (kg/m ³)	1963,453 1858,891 1772,374	MOLE #	
Porcentaje de humedad (%)	26% 26% 26%	MOLE #	
Densidad Seca (kg/m ³)	1536,095 1305,800 1253,624	MOLE #	
Densidad Seca (kg/m ³)	1536 1306 1254	MOLE #	
%CBR	23,85 23,58 26,75	MOLE #	

Penetración		CARGA		MOLE		MOLE		MOLE	
in	Estándar	kg	mm	1	2	3	1	2	3
0,1	1000	246,33	24,63	205,60	20,56	205,00	20,50	205,00	20,50
0,2	5000	346,00	34,60	400,00	40,00	465,00	46,50	510,00	51,00
PROMEDIO			23,85		23,58		26,75		

Penetración (in) vs Carga (kg)

Penetración (in)	Carga (kg)	Estándar (kg/m ²)
0,025	55	5167
0,050	100	10333
0,075	150	15500
0,100	200	20667
0,125	250	25833
0,150	300	31000
0,175	350	36167
0,200	400	41333
0,225	450	46500
0,250	500	51667
0,275	550	56833
0,300	600	62000
0,325	650	67167
0,350	700	72333
0,375	750	77500
0,400	800	82667
0,425	850	87833
0,450	900	93000
0,475	950	98167
0,500	1000	103333

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN

Edwin Andrés Jara Páez
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Estelina Polo
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 41 Ensayo CBR de suelo tipo 3

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

ENSAYO CBR

Tipo Arena Negra

DATOS INICIALES		MOGULP ESCALADA	
Peso de la muestra (kg)	0	Tara	Peso Tara
Clasura del molde (m)	0,624 m	Peso T+SA	Peso T+So
Altura del molde (m)	0,127 m	Peso SA (kg)	Peso So (kg)
Volumen del molde (m ³)	0,00033	HUMEDAD (to) (%)	
Densidad aparente (kg/m ³)	1835		
Humedad (Optima) (%)	17,38%		
Peso de la muestra tor (kg)	11,576		

DENSIDAD SECA		HINCHAMIENTO	
Molde	A1 A2 A3	Fecha	% HINCHAMIENTO
E de capas	5 5 5	MOLE #	
E de espesor capa	5 5 5	MOLE #	
Peso del molde (kg)	7,947 7,947 7,947	MOLE #	
Peso suelo + molde (kg)	11,241 11,47 11,711	MOLE #	
Peso del suelo compactado	3,294 3,523 3,747	MOLE #	
Densidad Humedad (kg/m ³)	1621,671 1628,719 1617,470	MOLE #	
Porcentaje de humedad (%)	32% 32% 32%	MOLE #	
Densidad Seca (kg/m ³)	1218,364 1171,934 1222,756	MOLE #	
Densidad Seca (kg/m ³)	1218 1172 1223	MOLE #	
%CBR	6,32 11,86 13,54	MOLE #	

Penetración		CARGA		MOLE		MOLE		MOLE	
in	Estándar	kg	mm	1	2	3	1	2	3
0,1	1000	85,33	8,53	101,67	10,17	114,00	11,40	124,00	12,40
0,2	5000	97,00	9,70	114,67	11,47	124,33	12,43	134,00	13,40
PROMEDIO			6,32		11,86		13,54		

Penetración (in) vs Carga (kg)

Penetración (in)	Carga (kg)	Estándar (kg/m ²)
0,025	73	2433
0,050	147	4867
0,075	220	7300
0,100	293	9733
0,125	367	12167
0,150	440	14600
0,175	513	17033
0,200	587	19467
0,225	660	21900
0,250	733	24333
0,275	807	26767
0,300	880	29200
0,325	953	31633
0,350	1027	34067
0,375	1100	36500
0,400	1173	38933
0,425	1247	41367
0,450	1320	43800
0,475	1393	46233
0,500	1467	48667

ESFUERZO VS DEFORMACIÓN

Edwin Andrés Jara Páez
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Estelina Polo
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 42 Ensayo CBR de suelo tipo 4

8. Ensayo CBR con 2% de cemento adicionado



Anexo 43 Cemento Chimborazo tipo GU



Anexo 44 Adición de 2% cemento a la muestra de suelo



Anexo 45 Toma de peso de muestra compactada



Anexo 46 Ingreso de las muestras con 2% de cemento a la piscina CBR



Anexo 47 Toma de datos de deformación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

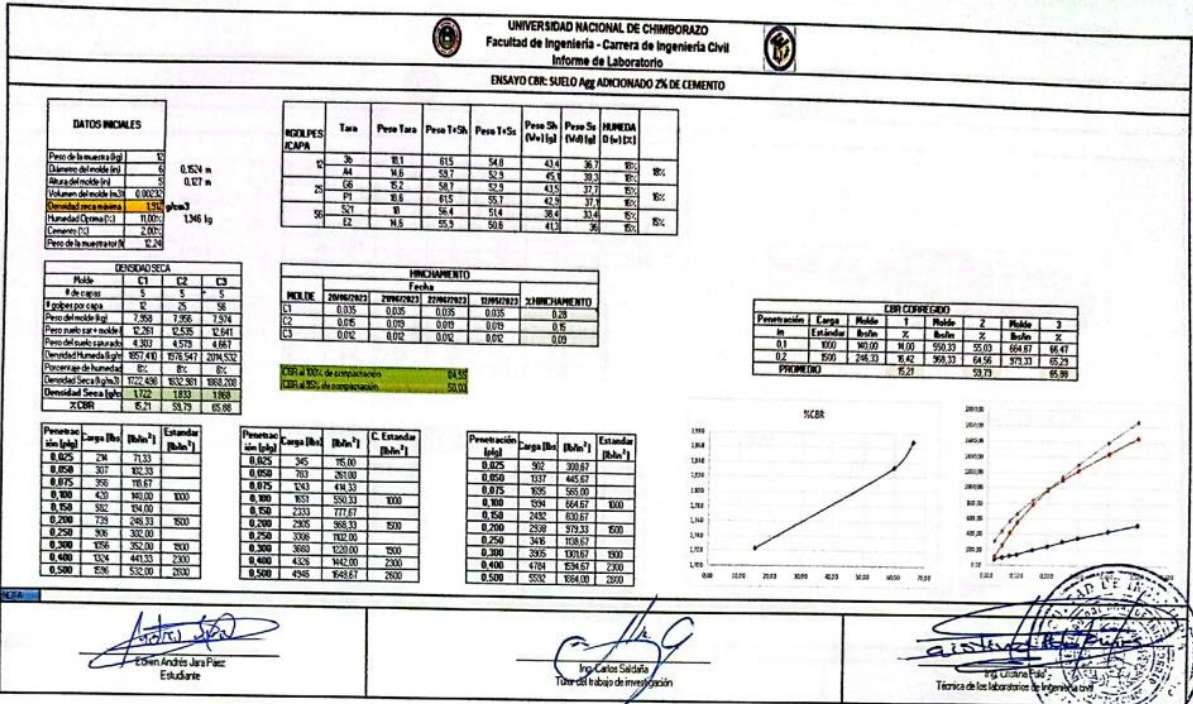
ENSAYO CBR: SUELO Café ADICIONADO 2% DE CEMENTO

DATOS INICIALES		MOLE						DENSIDAD SECA			HUMEDAD				CBR CORREGIDO						
Peso de la muestra (kg)	0.628	Tipo	12	Peso Tareo	16.3	Peso T=Sh	49.7	Peso T=Sh	40.9	Peso Sh	25.4	HUMEDAD	33%	Penetración	1.67	Carga	1000	Módulo	1.17		
Diámetro del molde (in)	0.127	ESCA	12	ESCA	16.4	ESCA	56.5	ESCA	44.4	ESCA	31	ESCA	33%	in	Estándar	1000	Boles	1	Boles	2	
Alteza del molde (in)	0.00212	ESCA	25	ESCA	16.7	ESCA	60.2	ESCA	50	ESCA	45.9	ESCA	29%	Boles	3	Boles	1	Boles	2	Boles	3
Volumen del molde (in ³)	1.468	ESCA	56	ESCA	15.2	ESCA	63	ESCA	52.1	ESCA	47.8	ESCA	30%	Boles	1	Boles	2	Boles	1	Boles	2
Densidad (g/cm ³)	25.664	ESCA	21	ESCA	18	ESCA	55.8	ESCA	47.8	ESCA	37.8	ESCA	26%	Boles	3	Boles	1	Boles	2	Boles	3
Humedad (Cemento (%)	2.024	ESCA	61	ESCA	18.3	ESCA	67.5	ESCA	57.2	ESCA	49.2	ESCA	26%	Boles	1	Boles	2	Boles	1	Boles	2
Cemento (%)	12.24	ESCA		ESCA		ESCA		ESCA		ESCA		ESCA		Boles	3	Boles	1	Boles	2	Boles	3
Peso de la muestra (kg)	1.158	ESCA		ESCA		ESCA		ESCA		ESCA		ESCA		Boles	1	Boles	2	Boles	1	Boles	2

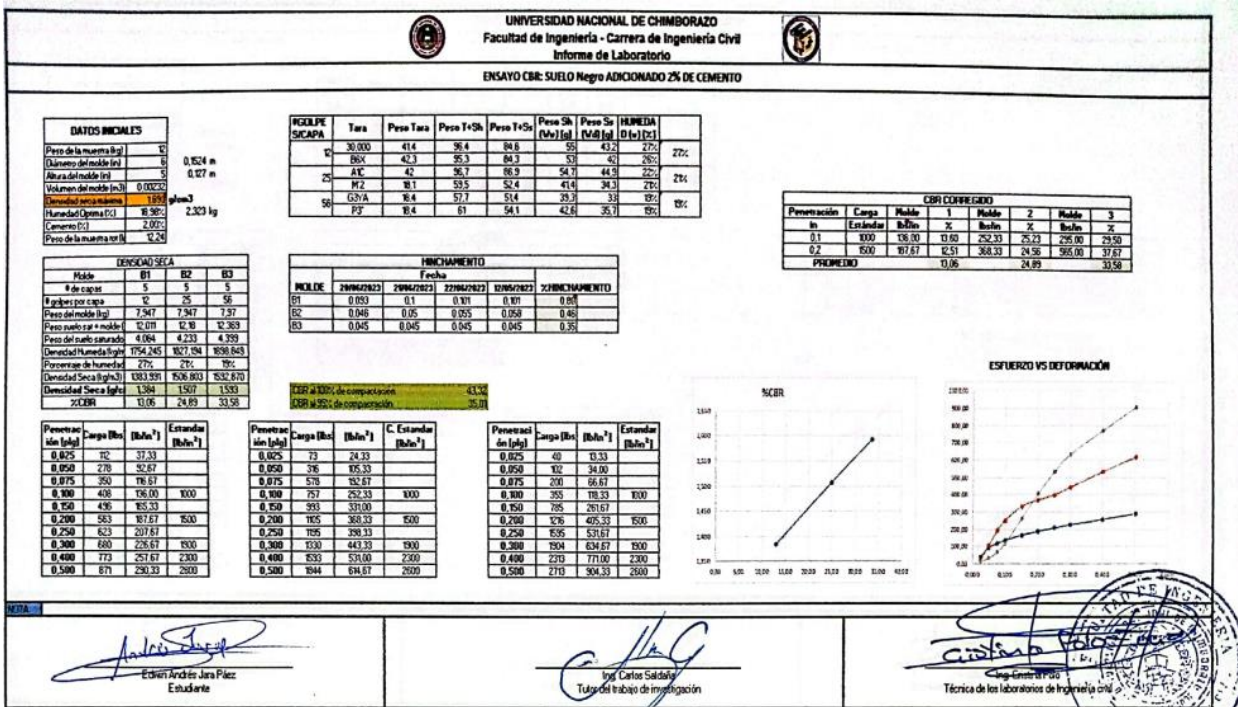
DENSIDAD SECA		HUMEDAD			
Módulo	A1 A2 A3	MOLE	Fecha	HUMEDAD	
# de capas	5 5 5	A1	0.1	0.13	0.17
# golpes por capa	12 26 56	A2	0.15	0.15	0.15
Peso del molde (kg)	7.542 7.517 7.513	A3	0.05	0.07	0.095
Peso suelo en el molde	11.767 11.912 11.961				
Peso del suelo saturado	3.825 4.002 3.988				
Densidad Humedad (kg)	1851.073 1727.492 1721.479				
porcentaje de humedad (H)	33% 29% 26%				
Densidad Seca (kg/m ³)	1271.925 1336.862 1362.807				
Densidad Seca (g/cm ³)	1.28 1.337 1.363				
SCBR	1.91 7.94 18.21				

PENETRACION		ESTANDAR	
Penetración (in)	Carga (lb)	Penetración (in)	Carga (lb)
0.025	5	0.025	55
0.050	10	0.050	102
0.075	15	0.075	149
0.100	20	0.100	220
0.150	30	0.150	330
0.200	45	0.200	495
0.250	67.5	0.250	742.5
0.300	101.25	0.300	1113.75
0.400	135	0.400	1485
0.500	168.75	0.500	1912.5

Anexo 48 Ensayo CBR de suelo tipo 1 con 2% de cemento



Anexo 49 Ensayo CBR de suelo tipo 2 con 2% de cemento

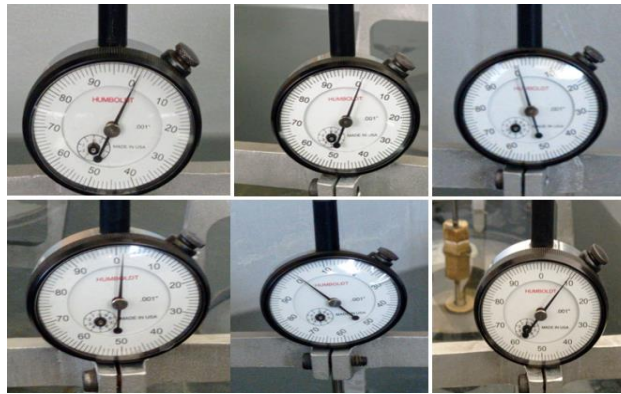


Anexo 50 Ensayo CBR de suelo tipo 4 con 2% de cemento

9. Ensayo CBR con 4% de cemento adicionado



Anexo 51 Preparación de suelo adicionado con 4% de cemento



Anexo 52 Toma de datos de deformación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

ENSAYO CBR: SUELO Café ADICIONADO 4% DE CEMENTO

DATOS INICIALES		#GOLPES/ESCALA PA	Tasa	Peso Tasa	Peso T+Sh	Peso T+S	Peso Sh (M) (g)	Peso Ss (M) (g)	HUMEDA D(%)
Peso de la muestra (g)	12	GR4	18.5	60.5	50.1	42	31.6	33%	32%
Diámetro del molde (in)	6	12	14.3	61	43.3	46.7	35.6	31%	32%
Altura del molde (in)	5	25	FG1A1	14.9	54.1	44.5	39.2	29.6	32%
Volumen del molde (in ³)	0.00232	56	115	14.2	53	44.1	38.8	29.3	32%
Densidad (esta muestra)	1.68 g/cm ³	Sh	17.6	53.4	43.4	41.8	31.8	32%	
Humedad (Digma (%)	22.22%	P9	18.4	64.6	53.4	46.2	35	32%	32%
Cemento (%)	4.00%								
Peso de la muestra total (g)	12.48								

DENSIDAD SECA			
Molde	A1	A2	A3
# de capas	5	5	5
# golpes por capa	12	25	56
Peso del molde (g)	7.942	7.97	7.973
Peso suelo + molde (g)	11.647	11.707	11.754
Peso del suelo compact	3.705	3.737	3.781
Densidad Humeda (g/cm ³)	1.69281	1.61094	1.62086
Coeficiente de humedad (%)	30%	30%	30%
Densidad (Seca Bala) (g/cm ³)	1.25237	1.40181	1.35451
Densidad (Seca) (g/cm ³)	1.225	1.241	1.252
σ _c (t/cm ²)	5.30	8.67	15.56

HINCHAMIENTO		
MOLDE	Fecha	HINCHAMIENTO
A1	03/07/2023	0.081
A2	03/07/2023	0.084
A3	03/07/2023	0.055
		0.56

CBR CORREGIDO		
Penetración in	Carga Estándar	Molde 1 Molde 2 Molde 3
0.1	1000	48.00 76.00 14.17
0.2	5000	87.00 140.00 9.33 254.33 16.96
PROMEDIO		
		5.30 8.67 15.56

LÍNEA 100% DE COMPACTACIÓN		
Penetración (in)	Carga (lb)	Estándar (lb/in ²)
0.025	75	500
0.050	25	833
0.075	52	1133
0.100	86	1567
0.200	217	3723
0.250	276	4700
0.300	329	5430
0.400	467	7607
0.500	606	10200

LÍNEA 95% DE COMPACTACIÓN		
Penetración (in)	Carga (lb)	Estándar (lb/in ²)
0.025	53	1767
0.050	76	2533
0.075	126	4200
0.100	184	6133
0.200	468	15000
0.250	576	18333
0.300	649	19367
0.400	920	28000
0.499	1174	35900

LÍNEA 80% DE COMPACTACIÓN		
Penetración (in)	Carga (lb)	Estándar (lb/in ²)
0.025	82	2733
0.050	211	7033
0.075	327	10900
0.100	425	14167
0.200	1039	33967
0.250	1263	39333
0.300	1430	43667
0.400	1976	47200
0.500	2543	59100

Edwin Andrés Jara Páez
Estudiante

Ing. Efraín Saldaña
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Emilio Páez
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 53 Ensayo CBR de suelo tipo 1 con 4% de cemento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

ENSAYO CBR: SUELO G.A. ADICIONADO 4% DE CEMENTO

DATOS INICIALES		MOULDES / CAPA		PESO T+SA		PESO SUELO		HUMEDAD	
Item	Valor	Tasa	Peso Tasa	Peso T+Sa	Peso Ss (N/g)	Peso Ss (N/g)	HUMEDAD (D)	HUMEDAD (E)	HUMEDAD (F)
Peso de la muestra (kg)	0	1	8	52.4	44.3	34.4	26.3	35%	33%
Diámetro del molde (m)	0.1524 m	ADX	42	60.3	113.8	38.8	28.8	35%	32%
Altura del molde (m)	0.127 m	BXK	42	33.4	61.2	51	38.8	35%	32%
Volumen del molde (m³)	0.0025	5A	42	91.9	79.8	43.8	37.8	35%	32%
Densidad seca (g/cm³)	1.63	6BX	41.8	86.1	75.7	44.3	33.9	35%	32%
Humedad (Optima) (%)	25.5%	8AX	42.5	89.1	78	46.6	35.5	35%	32%
Cemento (%)	4.00%								
Peso de la muestra (kg)	12.40								

DENSIDAD SECA		FINCHAMIENTO		CBR CORRIENTE									
Módulo	DT	DT2	DT3	Fecha	FINCHAMIENTO	Penetración	Carga	Módulo	1	Módulo	2	Módulo	3
# de capas	5	5	5			in	Estándar	Boles	%	Boles	%	Boles	%
# golpes por capa	12	25	56			0.1	1000	164.33	6.43	339.33	33.93	285.00	28.50
Peso del molde (kg)	7.956	7.962	7.958			0.2	9100	277.33	11.49	465.33	31.02	465.00	31.00
Peso suelo + r + molde	11.738	11.911	12.052			PROMEDIO			6.84			32.48	29.75
Peso del suelo saturado	3.787	3.949	4.034										
Densidad Humeda (g/cm³)	832.58	1004.04	1167.04										
Porcentaje de humedad	33%	35%	37%										
Densidad Seca (g/cm³)	1.20	1.295	1.945										
Densidad Seca (g/cm³)	1.20	1.295	1.945										
XCBR1	6.46	32.48	29.75										

Penetración			Estándar		
Carga (lbs)	(lbn/ft²)	(kN/m²)	Carga (lbs)	(lbn/ft²)	(kN/m²)
0.025	274	91.33	0.025	330	100.00
0.050	373	124.33	0.050	438	132.00
0.075	440	146.67	0.075	550	165.00
0.100	493	164.33	0.100	618	185.00
0.150	579	193.00	0.150	738	225.00
0.200	652	217.33	0.200	806	245.00
0.250	716	238.67	0.250	875	265.00
0.300	773	257.67	0.300	934	284.00
0.400	873	291.00	0.400	1034	315.00
0.500	972	324.00	0.500	1134	345.00

Penetración			Estándar		
Carga (lbs)	(lbn/ft²)	(kN/m²)	Carga (lbs)	(lbn/ft²)	(kN/m²)
0.025	330	100.00	0.025	50	15.67
0.050	438	132.00	0.050	210	64.00
0.075	550	165.00	0.075	271	82.33
0.100	618	185.00	0.100	308	94.00
0.150	738	225.00	0.150	360	108.67
0.200	806	245.00	0.200	420	126.00
0.250	875	265.00	0.250	495	149.33
0.300	934	284.00	0.300	564	170.00
0.400	1034	315.00	0.400	670	202.00
0.500	1134	345.00	0.500	787	239.00

Anexo 54 Ensayo CBR de suelo tipo 3 con 4% de cemento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

ENSAYO CBR: SUELO Negro ADICIONADO 4% DE CEMENTO

DATOS INICIALES		MOULDES / CAPA		PESO T+SA		PESO SUELO		HUMEDAD	
Item	Valor	Tasa	Peso Tasa	Peso T+Sa	Peso Ss (N/g)	Peso Ss (N/g)	HUMEDAD (D)	HUMEDAD (E)	HUMEDAD (F)
Peso de la muestra (kg)	10	10	16.000	10.2	46.6	38.8	28.0	35%	33%
Diámetro del molde (m)	0.1524 m	1	16	31.4	43.7	31.8	25.4	35%	32%
Altura del molde (m)	0.127 m	2	16	51.9	43.1	33.9	25.1	35%	32%
Volumen del molde (m³)	0.0025	3	16	61.5	42.8	35.5	25.1	35%	32%
Densidad seca (g/cm³)	1.63	4	16	61.5	42.8	35.5	25.1	35%	32%
Humedad (Optima) (%)	17.90%	5	16	61.5	42.8	35.5	25.1	35%	32%
Cemento (%)	4.00%								
Peso de la muestra (kg)	12.40								

DENSIDAD SECA		FINCHAMIENTO		CBR CORRIENTE									
Módulo	DT	DT2	DT3	Fecha	FINCHAMIENTO	Penetración	Carga	Módulo	1	Módulo	2	Módulo	3
# de capas	5	5	5			in	Estándar	Boles	%	Boles	%	Boles	%
# golpes por capa	12	25	56			0.1	1000	70.00	7.00	137.67	13.77	245.33	24.53
Peso del molde (kg)	7.947	7.947	7.937			0.2	800	100.33	6.69	204.33	13.62	354.00	21.60
Peso suelo + r + molde	11.933	11.927	11.670			PROMEDIO			6.84			13.63	24.12
Peso del suelo saturado	3.246	3.41	3.648										
Densidad Humeda (g/cm³)	1401.51	1719.42	1574.675										
Porcentaje de humedad	29%	28%	29%										
Densidad Seca (g/cm³)	1097.527	1351.496	1233.450										
Densidad Seca (g/cm³)	1.098	1.351	1.233										
XCBR1	6.84	13.63	24.12										

Penetración			Estándar		
Carga (lbs)	(lbn/ft²)	(kN/m²)	Carga (lbs)	(lbn/ft²)	(kN/m²)
0.025	34	10.33	0.025	142	43.33
0.050	144	43.00	0.050	256	76.33
0.075	180	54.00	0.075	345	103.00
0.100	230	69.00	0.100	412	123.67
0.150	296	88.33	0.150	521	156.67
0.200	301	90.33	0.200	610	182.00
0.250	340	102.00	0.250	700	210.00
0.300	380	114.00	0.300	788	236.00
0.400	453	135.00	0.400	902	270.00
0.500	524	157.67	0.500	1034	311.00

Penetración			Estándar		
Carga (lbs)	(lbn/ft²)	(kN/m²)	Carga (lbs)	(lbn/ft²)	(kN/m²)
0.025	190	57.33	0.025	50	15.67
0.050	410	123.33	0.050	210	64.00
0.075	555	166.33	0.075	271	82.33
0.100	720	216.00	0.100	308	94.00
0.150	934	282.67	0.150	360	108.67
0.200	1062	318.67	0.200	420	126.00
0.250	1162	348.67	0.250	495	149.33
0.300	1271	381.67	0.300	564	170.00
0.400	1438	431.33	0.400	670	202.00
0.500	1620	486.00	0.500	787	239.00

Anexo 55 Ensayo CBR de suelo tipo 4 con 4% de cemento

10. Ensayo CBR con 6% de cemento adicionado



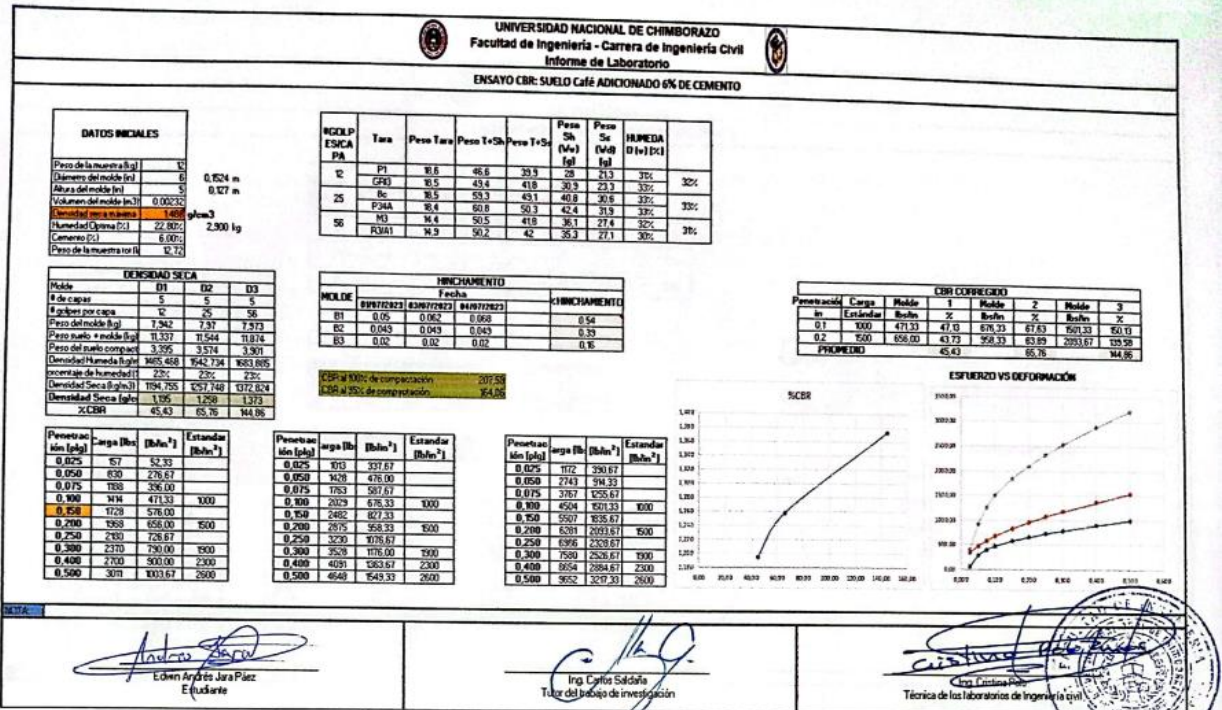
Anexo 56 Preparación de suelo adicionado con 6% de cemento



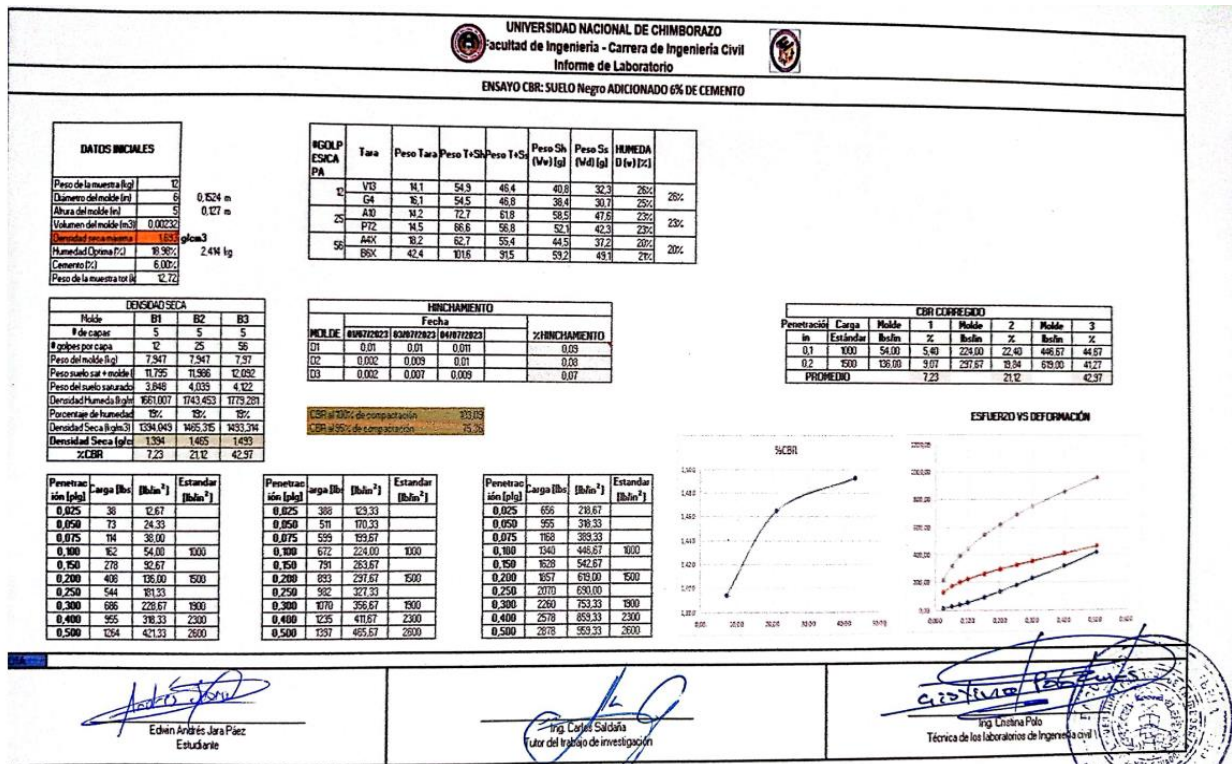
Anexo 57 Toma de datos de deformación



Anexo 58 Toma de una muestra de suelo húmeda luego del ensayo para determinación de contenido de humedad



Anexo 59 Ensayo CBR de suelo tipo 1 con 6% de cemento



Anexo 60 Ensayo CBR de suelo tipo 4 con 6% de cemento

11. Ensayo CBR con 8% de cemento adicionado



Anexo 61 Preparación de suelo adicionado con 8% de cemento



Anexo 62 Toma de datos de deformación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil
Informe de Laboratorio

ENSAYO CBR: SUELO G.A ADICIONADO 8% DE CEMENTO

DATOS INICIALES

Peso de la muestra (kg) 13
 Diámetro del molde (in) 6
 Altura del molde (in) 5
 Volumen del molde (in³) 0.00292
 Densidad seca (g/cm³) 1.433
 Humedad (Optima) (%) 25.52
 Cemento (%) 8.025
 Peso de la muestra (kg) 34.00

MOCLP ESICA PA	Tara	Peso Tara	Peso T+Sh	Peso T+Ss	Peso Ss (T+V) (g)	Peso Ss (M+V) (g)	HUMEDAD (D (v) (%)
10	B4X	18.1	54.3	44.9	36.2	26.8	30%
20	B5X	47.5	73.4	65.3	30.3	22.8	30%
30	A3C	41.8	84.7	74.1	42.3	32.3	32%
50	M2	11.1	31.7	25.9	13.9	9.9	30%
60	Bc	18.6	62.6	52.2	44	33.8	30%

DEHIDRATACION SECA

Huile	E1	E2	E3
# de cascos	5	5	5
# golpes por capa	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.956	7.962	7.958
Peso peso + molde (kg)	11.624	11.647	11.919
Peso del suelo compactado	3.668	3.685	3.961
Densidad Humeda (g/cm ³)	1.574	1.578	1.707
Procentaje de humedad (%)	28%	28%	28%
Densidad Secca (g/cm ³)	1.223	1.231	1.333
Densidad Secca (g/cm ³)	1.223	1.311	1.333
%CBR	10.23	130.72	162.17

HINCHAMIENTO

MOCLP	2006/2023	2104/2023	2204/2023	2304/2023	% HINCHAMIENTO
D1	0.01	0.02	0.04	0.04	0.11
D2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09
D3	0.007	0.005	0.005	0.01	0.08

CBR al 100% de compactación: 202.22
 CBR al 20% de compactación: 10.96

CBR CORREGIDO

Penetración	Carga Estándar	Huile	1	Huile	2	Huile	3
in	Estándar	in	in	in	in	in	in
0.1	1000	151.33	151.33	158.13	172.33	173.23	
0.2	1500	620.00	633.33	639.67	653.31	656.67	651.11
PROMEDIO		10.23	130.72	162.17			

ESFUERZO VS DEFORMACION

Andrés Jara
 Echen Andrés Jara Páez
 Estudiante

Carlos Saldaña
 Ing. Carlos Saldaña
 Titular del trabajo de investigación

Luís Polo
 Ing. Luis Polo
 Técnico de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 63 Ensayo CBR de suelo tipo 3 con 8% de cemento



Anexo 64 Lectura de la máquina antes del fallo, suelo tipo 1 con 8% de cemento



Anexo 65 Lectura de la máquina antes del fallo, suelo tipo 2 con 8% de cemento



Anexo 66 Estructura de suelo cemento



Anexo 67 Suelo con 8% de cemento