



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

**Título del proyecto**

Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniería Civil**

**Autor:**

Yunga Silva, Alexander Santiago

**Tutor:**

MgSc. Carlos Sebastián Saldaña García

**Riobamba, Ecuador. 2023**

## **DERECHO DE AUTORÍA**

Yo, Alexander Santiago Yunga Silva, con cédula de ciudadanía 0603947771, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí 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, 02 de mayo de 2023.



---

Alexander Santiago Yunga Silva

C.I: 060394777-1

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí por Alexander Santiago Yunga Silva, con cédula de identidad número 060394777-1, 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 02 de mayo de 2023.

Diego Barahona, PhD./Mgs.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Vladimir Pazmiño, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Jorge Núñez, PhD.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs.  
**TUTOR**



---

## CERTIFICADOS DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí, presentado por Alexander Santiago Yunga Silva, con cédula de identidad número 060394777-1, bajo la tutoría de Mg. 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 02 de mayo de 2023

Presidente del Tribunal de Grado  
Mgs./ Diego Barahona

Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. Vladimir Pazmiño

Miembro del Tribunal de Grado  
PhD. Jorge Núñez



# CERTIFICADO ANTIPLAGIO

# CERTIFICACIÓN

Que, Yunga Silva Alexander Santiago con CC: 0603947771; estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, **NO VIGENTE**, Facultad de Ingeniería; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí**", cumple con el 0%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio URKUND, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 25 de abril de 2023



Mgs. Carlos Saldaña García  
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres Miguel y Elizabeth, quienes siempre me apoyaron tanto en las buenas como en las malas, dándome consejos y enseñándome con cada experiencia vivida. Para formarme como persona en todos los ámbitos.

A mi primo quien me apoyo en todo momento de la carrera y supo apoyarme cuando más lo necesitaba.

A mis mascotas quien me dieron apoyo emocional en los momentos de soledad.

*Alexander Santiago Yunga Silva*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a la Universidad Nacional de Chimborazo por haberme abierto sus puertas para poder estar en una gran institución y así poder formarme como un buen profesional.

Agradecer a todos los profesores que a lo largo de la carrera me aconsejaron y enseñaron sobre la carrera para tener el conocimiento suficiente para desenvolverme en la vida laboral.

A mis amigos de la carrera que me ayudaron y apoyaron para seguir adelante y pasar grandes vivencias con ellos.

A mi tutor por el apoyo y guía sobre el tema para poder realizarlo de la mejor manera.

## ÍNDICE GENERAL

DERECHO DE AUTORÍA .....	2
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	3
CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO .....	7
RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1    Antecedentes .....	14
1.2    Planteamiento del Problema .....	14
1.3    Justificación .....	15
1.4    Objetivos.....	15
1.1.1.    General .....	15
1.1.2.    Específicos.....	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1    Estado del arte.....	16
2.2    Suelo .....	17
2.2.1.    Definición .....	17
2.2.2.    Clasificación de suelos .....	17
2.2.3.    Clasificación AASTHO.....	17
2.2.4.    Clasificación SUCS .....	18
2.3    Propiedades de los suelos a obtener.....	18
2.3.1.    Granulometría.....	18
2.3.2.    Límites de Atterberg.....	19
2.3.3.    Contenido de humedad.....	19
2.3.4.    Densidad.....	19
2.3.5.    Densidad máxima y humedad óptima.....	19
2.3.6.    Capacidad portante .....	19
2.4    Infraestructura Vial .....	19
2.5    Estructura de la vía.....	20
2.6    Requisitos básicos granulares para capas de rodaduras.....	20
2.7    Geología local de la Vía.....	22
2.8    Propiedades de la cal.....	23
2.9    Ensayo de medición de rigidez por el método GEOGAUGE.....	23



2.10	Ensayo de laboratorio California Bearing Ratio (CBR) .....	23
2.11	Estabilización de subrasante con cal.....	23
2.12	Fórmulas para el cálculo del CBR in situ. ....	24
2.13	Comportamiento del CBR en suelos.....	24
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....		25
3.1	Tipo de Investigación.....	25
3.2	Diseño de Investigación.....	25
3.3	Técnicas de recolección de datos.....	26
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra.....	26
3.4.1.	Población de estudio.....	26
3.4.2.	Muestra.....	27
3.5	Hipótesis .....	27
3.6	Métodos de análisis y procesamiento de datos .....	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		28
4.1	Resultados.....	28
4.1.1.	Geología local de Alausí obtenidos del GAD Alausí.....	28
4.1.2.	Datos del CBR de la vía. ....	29
4.1.3.	Tramos de la vía. ....	30
4.1.4.	Granulometría de los suelos .....	31
4.1.5.	Límites de Atterberg.....	32
4.1.6.	Contenido de humedad.....	33
4.1.7.	Densidad de finos .....	33
4.1.8.	Densidad de gruesos.....	33
4.1.9.	Proctor modificado.....	34
4.1.10.	Ensayo de CBR.....	34
4.1.11.	Diseño de estructura de la vía por tramos.....	35
4.2	Discusión .....	39
4.2.1.	Aumento del CBR en cada tramo.....	39
4.2.2.	Comparación del espesor de la estructura de la vía con la adición de cal.....	39
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....		40
5.1	Conclusiones .....	40
5.2	Recomendaciones .....	41
BIBLIOGRAFÍA.....		42
ANEXOS.....		44

## ÍNDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1</b> Sistema de clasificación AASHTO (UTC 2016).....	17
<b>Tabla 2</b> Clasificación de suelos SUCS. (Santamar et al. 2005).....	18
<b>Tabla 3</b> Vías por material del cantón Alausí. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausí 2015).....	20
<b>Tabla 4</b> Clasificación funcional de las vías en base al TPDA. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador 2012).....	21
<b>Tabla 5</b> Granulometría de la base a ser modificada. (NEVI-12-MTOP 2013).....	21
<b>Tabla 6</b> CBR de subrasantes por categorías (Quezada Osoria 2017).....	22
<b>Tabla 7</b> Coeficientes del tramo 2.....	31
<b>Tabla 8</b> Coeficientes del tramo 3.....	32
<b>Tabla 9</b> Coeficientes del tramo 4.....	32
<b>Tabla 10</b> Tabla de resultados de los límites Atterberg.....	32
<b>Tabla 11</b> Tabla de contenido de humedad de cada tramo.....	33
<b>Tabla 12</b> Tabla de densidad de finos.....	33
<b>Tabla 13</b> Tabla de densidad de gruesos.....	34
<b>Tabla 14</b> Tabla de Proctor modificado.....	34
<b>Tabla 15</b> Tabla del CBR de los suelos.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1</b>	Diagrama de flujo de la metodología.....	25
<b>Figura 2</b>	Geología de la vía. ....	29
<b>Figura 3</b>	CBR de la vía.....	30
<b>Figura 4</b>	Mapa de la vía.....	31
<b>Figura 6</b>	Gráfica del CBR.....	35
<b>Figura 7</b>	Estructura del pavimento del tramo 2. ....	36
<b>Figura 8</b>	Números estructurales del tramo 2.....	36
<b>Figura 9</b>	Estructura del pavimento del tramo 3. ....	37
<b>Figura 10</b>	Estructura del pavimento del tramo 3. ....	37
<b>Figura 11</b>	Estructura del pavimento del tramo 4. ....	38
<b>Figura 12</b>	Números estructurales del tramo 4.....	38
<b>Figura 13</b>	Aumento del CBR respecto al suelo natural. ....	39

## RESUMEN

La mayoría de la estructura vial del país no está en buenas condiciones ya sea por el uso continuo o la falta de mantenimiento, así como pocas vías son consideradas de primer orden. En el cantón Alausí la mayoría de las vías son de segundo o tercer orden por lo cual se encuentran lastradas y debería mantenerse en buenas condiciones, pero debido al poco estudio del suelo al momento de su construcción se presentan un desgaste prematuro reduciendo su vida útil considerablemente y la falta de presupuesto hace que no se realice su mantenimiento respectivo. Es por esto por lo que se plantea una alternativa con la cual es optimizar los recursos para su mejora de vida útil, donde se utiliza cal en la subrasante para mejorar su capacidad portante. Para ello se realizó el estudio de la vía de segundo orden Sibambe-Multitud de Alausí de 48.5 km en el cual se obtuvo 3 tramos relevantes y con ello el estudio de sus características y a su vez la obtención de su capacidad portante agregando cal viva en un 2%, 4% y 6% para obtener el porcentaje óptimo para su colocación en la subrasante. Se obtuvo resultados favorables en el cual el tramo 2 mejoró con 2% de cal un 1.94% respecto al suelo natural, con el 6% de cal se obtuvo una mejora del 148.27%. En el tramo 3 al 2% de cal se obtuvo una mejora del 9.6%, al 4% de cal se obtuvo un 203.12%. En el tramo 4 se obtuvo al 2% de cal un 354.08% de mejora y al 4% de cal se obtuvo un 631.16% concluyendo que el 4% de cal es la cantidad óptima de colocación en esos estratos para su mejora, siendo una reducción de inversión considerable y optimizando la cantidad de cal.

**Palabras claves:** Vía, CBR, Alausí, lastre, cal viva, mejora, subrasante, espesor

## ABSTRACT

Most of the country's road structure is not in good condition, either due to lack of maintenance, and few roads considered first order. In the Alausí canton, most of the roads are second or third order, which is why they are ballasted and should be kept in good condition, but due to the little study of the soil at the time of construction, premature wear occurs, considerably reducing their useful life. and the lack of budget means that their respective maintenance is not carried out. It is for this reason that an alternative proposed with which it is to optimize the resources for its improvement of useful life, where lime is used in the subgrade to improve its bearing capacity. For this, the study of the second order road Sibambe-Multitud de Alausí of 48.5 km was carried out, in which 3 relevant strata obtained and with it the study of its characteristics and in turn obtaining its bearing capacity by adding quicklime in a 2%, 4% and 6% to obtain the optimal percentage for its placement in the subgrade. Favorable results obtained in which stratum 2 improved with 2% lime by 1.94% compared to the natural soil, with 6% lime an improvement of 148.27% obtained. In stratum 3 at 2% lime an improvement of 9.6% obtained, at 4% lime an improvement of 203.12% obtained. In stratum 4, 354.08% improvement obtained at 2% lime and 631.16% obtained at 4% lime, concluding that 4% lime is the optimal amount of placement in those strata for improvement, being a reduction considerable investment and optimizing the amount of lime.

**Keywords:** Track, CBR, Alausí, ballast, quicklime, improvement, subgrade, thickness.



firmado electrónicamente por:  
MARITZA DE LOURDES  
CHAVEZ AGUAGALLO

Reviewed by:

Mgs. Maritza Chávez Aguagallo

**ENGLISH PROFESSOR**

c.c. 0602232324

# **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.**

## **1.1 Antecedentes**

El desarrollo social y económico en el país va en aumento es por eso por lo que la infraestructura vial es una parte importante para el desarrollo del país, ya que permite la comunicación de diferentes centros de población, así como también el intercambio de bienes y servicios.

Las vías proporcionan conectividad a diferentes zonas de grande y pequeña población. Las vías de segundo orden proporcionan una conectividad a vías de primer orden los cuales son de gran ayuda para las zonas pobladas que no se encuentran cerca de las vías principales haciendo que exista una mayor conectividad mejorando su comunicación y generando un mayor crecimiento de asentamientos. Al mismo tiempo las vías pueden generar ciertas facilidades a sus usuarios.

Las vías de segundo orden son vías cuya función es recolectar el tráfico de una zona rural o urbana para conducirlo a vías primarias. Es por lo que debido a su demanda estas vías deben encontrarse en óptimas condiciones para brindar seguridad y ser confortable el tránsito en la misma.

En la actualidad el mantenimiento no es realizado adecuadamente por la ineficiente gestión de conservación de carreteras. Con lo cual una mejora de la capacidad portante de la subrasante mediante alternativas mejora su vida útil, así mejorando la calidad para sus usuarios.

Es importante realizar el estudio necesario de las vías de segundo orden especialmente lastradas, ya que son el mayor porcentaje de vías en varios lugares del país, como es el caso del cantón Alausí por ello se obtiene un diagnóstico y se plantea alternativas constructivas que contribuya a la mejora de la gestión de conservación de carreteras.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

En el país el 12% de la red vial se encuentra totalmente pavimentado el 57% se encuentra con superficie de rodadura afirmada y una cuarta parte de la red vial son caminos de tierra haciendo que los usuarios tengan menos seguridad a la hora de abordar las vías. (E-asfalto 2016)

En Chimborazo se encuentran muy pocas vías asfaltadas por lo que predomina las vías lastradas y de tierra haciendo que se base más el estudio en esta últimas. Para Chimborazo, el cantón con mayor longitud de territorio es Alausí en el cual 466.143 km son de vías lastradas (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausi 2015). Por lo tanto, estas vías son de gran importancia para el transporte del cantón ya que el mayor porcentaje de estas vías se encuentra en zonas donde hay gran población de comunidades y parroquias como la vía Sibambe- Multitud. Debido al crecimiento del transporte de vehículos

de camiones de un eje que es el transporte que mayormente se usa en estas zonas, hace que el deterioro de la vía sea mucho mayor y debido a los factores ambientales como el aumento de lluvias y neblina que se ha presentado en estos últimos años hace que su desgaste sea mucho mayor y que no se ha contemplado al momento de realizar las estructuras de las vías.

La adicción de materiales que mejoren la capacidad portante de la subrasante implicaría mejoras en el funcionamiento y comportamiento del pavimento ante las cargas vehiculares aplicadas, así como la reducción de los espesores que conforma la estructura de este.

### **1.3 Justificación**

La presente investigación se realiza con el propósito de investigar alternativas para optimizar el costo de transporte reduciendo el costo de las intervenciones, así como también mejorando la capacidad estructural de las vías de segundo orden lastradas. Para ello se va a realizar el estudio de la vía Sibambe- Multitud de aproximadamente 48.7 km ya que une dos vías principales y es de alta demanda vehicular y conecta a diferentes zonas pobladas. Con ello se realiza el diagnóstico de la vía y se obtiene la capacidad estructural de la misma, con lo cual se podrá realizar un estudio para incorporar cal viva para que mejore la capacidad estructural así aumentando su durabilidad y vida útil de la vía, ya que al tener mayor durabilidad se reduce el desgaste de la vía y a su vez minimiza el mantenimiento necesario.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.1.1. General**

- Determinar la dosificación de cal más adecuada que mejore la capacidad estructural de las vías de segundo orden.

#### **1.1.2. Específicos**

- Caracterizar la geología local en la vía Sibambe – Multitud conforme a los registros de los planes de ordenamiento territorial del cantón Alausí.
- Mapeo del terreno en conformidad al módulo resiliente (MR) y la capacidad portante California (CBR) utilizando el equipo Geo Gauge.

- Determinar en laboratorio los parámetros mecánicos de la subrasante en función del mapeo obtenido.
- Medir la capacidad estructural a diferentes dosificaciones de cal para cada muestra de suelo obtenido.
- Determinar la dosificación de cal más adecuada.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Estado del arte**

En Ecuador según el ingeniero Erick Gavilanes en su investigación “Estabilización y Mejoramiento de Sub-Rasante Mediante Cal Y Cemento Para Una Obra Vial en el Sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur.” Investigó los diferentes estratos del suelo obteniendo sus características en la cual adicionando cal y cemento concluyó que hay una mejora significativa en la capacidad portante y a su vez disminuye los costos de construcción.(Bayas. 2015).

En Perú según los ingenieros Moale Alexandra y Rivera Ebdy en su investigación “Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica” obtuvo en su investigación el porcentaje de cal necesario para la estabilización de los suelo arcillosos el cual fue de 15% con un CBR del suelo natural de 3.3% a 5.9%.(Moale Quispe and Rivera Justo 2019a)

En Perú los ingenieros Angulo Mariselva y Zavaleta Cintia en su investigación “estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación navarro cauper, distrito san juan – maynas – iquitos, 2019”, se investigó en diferentes tipos de estratos de suelos con alta plasticidad y baja plasticidad en el cual se agregó 2,4 y 6 % de cal viva y se obtuvo que si hay un mejoramiento considerable en los suelos para colocar en vías que no tienen capa de rodadura.(Angulo y Zavaleta 2020).

En Nicaragua los ingenieros Altamirano Genaro y Díaz Axell en su investigación “Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas” realizó el estudio de los suelos para obtener sus propiedades y con ellos se obtuvo que con 9% de cal se obtiene mejores condiciones en el suelo obteniendo una reducción del 61% con la adición de cal.(Altarmirano and Díaz 2015)

En Piura el ingeniero Quezada Santiago en su investigación “Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación” se obtuvo en su investigación que el mayor porcentaje de colocación de conchas disminuye la absorción capilar del suelo impidiendo el paso del agua con el 80% de concha y 20 % suelo natural.(Quezada Osoria 2017).



En Colombia el ingeniero Gómez Genaro en su investigación “Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante” realizo la adición de cal y ceniza volante del 2,4,6, y 8% al suelo para su mejoramiento obteniendo un resultado favorable de 4% de adición para obtener un esfuerzo máximo y 8% para obtener una menor deformación.(Gómez 2018)

## 2.2 Suelo

### 2.2.1. Definición

Desde el punto de vista de ingeniería civil tiene como definición a que son los sedimentos no consolidados producto de la alteración de rocas los cuales son transportados por agentes naturales como el agua, el hielo, el viento o la gravedad y que también puede o no contener materia orgánica.(Duque and Escobar 2016)

### 2.2.2. Clasificación de suelos

La gran variedad de suelos hace que sea complicado determinarlo sólo con la observación. Es por eso por lo que mediante sus características se pueden clasificar y a su vez se usan dos sistemas de clasificación de suelos

### 2.2.3. Clasificación AASTHO

Este sistema fue creado en 1929 y se modificó en 1945 por el departamento público de camino de los EUA, en el cual clasifica los suelos en siete grupos basándose en su granulometría, limite líquido y limite plástico. (UTC 2016)

**Tabla 1**

Sistema de clasificación AASHTO (UTC 2016).

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO											
Clasificación General	Suelos granulares (< 35% pasa 0,08 mm)							Suelos finos (> 35% Bajo 0,08 mm)			
Grupo	A-1		A-2					A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5 ** A-7-6 **
2 mm	<50										
0,5 mm	<30	<50	<51								
0,08 mm	<15	<25	<10	<35				<36			
WL				<40	<41	<40	<41	<40	<41	<40	<41
IP	<			<10	<10	<11	<11	<10	<10	<11	<11
Descripción								Limosos Suelos Arcillosos			
	** A-7-5: IP<(WL-30)							A-7-6: IP > (WL-30)			
	IG = (F-35) [0,2 + 0,005 (WL - 40)] + 0,01 (F-15) (IP- 10)										
	* Para A-2-6 y A-2-7: IG= 0,01 (F-15) (IP - 10)										
	Si el suelo es NP IG = 0; Si IG<0 -> IG=0										



### **2.3.2. Límites de Atterberg**

Permite caracterizar las partículas finas de una muestra de suelo en base a su contenido de agua, el cual está en 4 estados: líquido, plástico, semisólido y sólido. Donde se analiza dos principales: el líquido y el plástico.

- **Límite líquido.**

Se define como el contenido de humedad en el que las muestras de suelo cohesivo pasan de estado plástico a líquido. Este se determina mediante el ensayo de Copa de Casagrande.

- **Límite plástico.**

Hace referencia a la cantidad de agua necesaria en una muestra de suelo para que pase del estado semisólido a plástico.

### **2.3.3. Contenido de humedad.**

Es el contenido de humedad en el cual el suelo es capaz de retener. También se puede definir como la cantidad de agua retenida en una muestra respecto al peso seco del mismo.

### **2.3.4. Densidad.**

Se entiende como el peso por el volumen del suelo.

### **2.3.5. Densidad máxima y humedad óptima.**

Se entiende como la relación en la cual el suelo tiene una humedad que proporciona la densidad máxima seca, que se le atribuye el nombre de humedad óptima el cual se utiliza para la compactación del suelo. Estas características se determinan mediante el ensayo de Proctor modificado.(Cárdenas and Donoso 2008).

### **2.3.6. Capacidad portante**

Es la capacidad en el cual un terreno o suelo soporta las cargas debido al transporte que circula en la vía. (Niño 2019).

## **2.4 Infraestructura Vial**

La infraestructura vial es uno de los pilares más importante en un país, ya que genera un crecimiento socioeconómico y un desarrollo al país, ya que permite la comunicación e intercambio de bienes y servicios.

Según el gobierno autónomo descentralizado de Chimborazo indica que la red provincial es de una longitud de 3588.5 km en el cual el cantón Alausí es el que tiene mayor porcentaje de vías con un 685.70 km de longitud en su territorio. (Chimborazo 2019).

Alausí al ser uno de los cantones más antiguos y con mayor red vial del Chimborazo, tiene una infraestructura vial de bajas condiciones. Según el PDOT de Alausí solo el 6.84% de la red vial total esta asfaltada. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausí 2015).

**Tabla 3**

*Vías por material del cantón Alausí. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausí 2015)*

Vías por material del cantón Alausí				
Tipo de material	No. De tramos	Longitud(m)	Longitud (Km)	Porcentaje
Asfalto	318	121590.75	121.591	6.84%
Lastre	488	466143.42	466.143	26.24%
Tierra	1472	1188610.08	1188.61	66.91%

Las vías de segundo orden están conformadas por tramos de vías que conectan a vías de primer orden, en Alausí se tiene que su red vial es mayormente vías alternas que conectan a vías principales con 661.5 km de longitud (Chimborazo 2019)

El clima del cantón Alausí es muy variado por lo cual hace que las vías se deterioren rápidamente, haciendo que se deba realizar un mantenimiento pertinente. Pero debido a falta de presupuesto no se ha realizado, con lo cual según el plan vial integral se tiene que el estado de la superficie de rodadura es malo en 165.18 km y regular en 457.88 km.(Chimborazo 2019).

## 2.5 Estructura de la vía

La estructura de un pavimento está conformada por diferentes partes

Capa de rodadura: Se encarga de impermeabilizar, para que las capas inferiores mantengan su capacidad de soporte. Provee una superficie que resiste el deslizamiento y reduce las tensiones verticales.(Instituto tecnológico de aeronáutica 2018)

Capa base: reduce las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen en la sub-base y suelo natural. Permite el drenaje del agua que se infiltra.(Instituto tecnológico de aeronáutica 2018)

Subbase: está formada por un material que ejerce un soporte y permita la reducción del espesor de la capa base.(Instituto tecnológico de aeronáutica 2018).

## 2.6 Requisitos básicos granulares para capas de rodaduras

Las capas de rodadura básica granulares también conocidas como lastre o lastrado, es una mezcla de áridos finos y gruesos con un porcentaje de agua el cual permite resistir a la carga vehicular de vías de bajo tránsito. Para ello se tiene en consideración normativas que ayudan a diseñar estas capas de rodaduras.

Para el diseño de la vía debemos tener ciertas consideraciones como el TPDA para su correcto funcionamiento como se indica a continuación.

**Tabla 4**

*Clasificación funcional de las vías en base al TPDA. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador 2012).*

Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA_d			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA_d) al año de horizonte	
		Límite Inferior	Límite Superior
		Autopista	AP2
Autovía o Carretera Multicarril	AP1	50000	80000
	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Según la NEVI-12-MTOP tenemos ciertos parámetros en los ensayos como en granulometría el cual se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5**

*Granulometría de la base a ser modificada. (NEVI-12-MTOP 2013)*

TAMIZ		Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
		Agregado grueso	Agregado fino
2"	50 mm	100	
1 ½"	37.5 mm	95 – 100	-
¾"	19 mm	40 – 100	-
Nº 4	4.75 mm	0 – 5	80 – 100
Nº 10	2 mm	-	50 – 85
Nº 40	0.425 mm	-	15 – 45
Nº 200	0.075 mm	-	0 – 10

También se tiene en consideración los límites de Atterberg el cual indica que:

- **Suelos seleccionados:**
  - Limite líquido (LL<30).
  - Índice de plasticidad (IP<10).
- **Suelos adecuados:**
  - Limite líquido (LL<40).
  - Índice de plasticidad (IP>4) si (LL>30).
- **Suelos tolerables:**
  - Limite líquido (LL<65).
  - Índice de plasticidad (IP>0.73) si (LL>20).

Para la capacidad portante de la subrasante se tiene como valor mínimo (CBR $\geq$ 3) según lo estipula la normativa NEVI-12. También si el suelo es menor que 3 puede ocasionar problemas de resistencia, deformabilidad y puesta en obra.(NEVI-12-MTOP 2013)

Para la subbase se tiene que el valor del CBR debe ser igual o mayor a 30%

**Tabla 6**

*CBR de subrasantes por categorías (Quezada Osoria 2017).*

<b>Categoría de Subrasante</b>	<b>CBR</b>
Subrasante inadecuada	CBR < 3%
Subrasante insuficiente	CBR $\geq$ 3% A CBR <6%
Subrasante regular	CBR $\geq$ 6% A CBR <10%
Subrasante buena	CBR $\geq$ 10% A CBR < 20%
Subrasante muy buena	CBR $\geq$ 20% A CBR < 30%
Subrasante excelente	CBR $\geq$ 30%

## 2.7 Geología local de la Vía

La geología local del vía al ser de 48.7 km abarca tres formaciones geológicas las cuales son formación unidad DL, Formación unidad DCH G e intrusivos sub volcánicos.(Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausi 2015). Con estos tres tipos de formaciones se obtiene una visión más clara de cómo reaccionará la cal a este tipo de suelos.

También se puede obtener la información de las texturas del suelo de la vía en la cual son: franco-limoso y franco.(Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausi 2020).

## **2.8 Propiedades de la cal**

La cal tiene muchos usos uno de los cuales es en la construcción el uso o adición de cal en la construcción da como resultado:(Construcción digital Keobra México 2021).

- Al mezclarse con mortero, tiene una mejor trabajabilidad y adherencia.
- Mejora y estabiliza suelos arcillosos con lo cual tiene una mejor compactación, mayor resistencia.
- Reduce las grietas, evita problemas de salitre.

## **2.9 Ensayo de medición de rigidez por el método GEOGAUGE**

El tiempo es uno de los recursos más valiosos en una construcción. El cumplimiento de plazo en obras son compromisos en los cuales si no se cumplen dan lugar a sobrecostos y multas. Debido a esto y mediante la tecnología se ha generado nuevos equipos que permiten a través de ellos perder tiempo valioso. Unos de los dispositivos es el GeoGauge, el cual determina los parámetros de la rigidez del suelo y con ello la densidad de este, dando como resultado un gran ahorro de tiempo ya que permite determinar el módulo de rigidez del pavimento más rápido.

“El GeoGauge consiste en su sistema evaluación en el cual emite cargas a través de un peso ligero y por medio de sensores mide la deflexión ocasionada por dicho peso y por medio de esta relación se puede obtener el módulo de rigidez de un suelo.”(PEREZ and PATERNINA 2012)

Es una mejor alternativa en comparación a equipos que usan material radiactivo como el densímetro nuclear. (PEREZ and PATERNINA 2012).

## **2.10 Ensayo de laboratorio California Bearing Ratio (CBR)**

“Este ensayo se usa para determinar la capacidad de soporte de bases, subbases y subrasantes de suelos mediante un índice de resistencia denominado valor de relación de soporte, Previamente se debe conocer la humedad óptima y la máxima densidad seca del suelo.”

Esto quiere decir que la condición de humedad más desfavorable se presenta cuando el suelo está saturado. Con lo cual el suelo se sumerge durante 4 días, confinados en un molde con una sobre carga que simula el peso del pavimento.(Moale Quispe and Rivera Justo 2019b)

## **2.11 Estabilización de subrasante con cal.**

Según la NEVI-12 (NEVI-12-MTOP 2013), Este proceso consiste en la incorporación de una determinada cantidad de cal al suelo de la subrasante con la finalidad

de mejorar su capacidad de soporte y disminuir la plasticidad y sensibilidad a la presencia de agua.

Para la adicción los materiales deben tener ciertos parámetros los cuales son:

- El suelo que se usará para la subrasante debe provenir directamente de la excavación o suelos provenientes de préstamos, exentos de materiales orgánicos o perjudiciales. (NEVI-12-MTOP 2013).
- Para la estabilización con cal el suelo no debe contener partículas mayores a 1 1/3 mm del espesor de la capa compactada, a su vez la cal debe ser cal viva o hidrata y cumplir los requisitos de la AASHTO M – 216 o AASHTO C-977. (NEVI-12-MTOP 2013).
- La cal debe encontrarse suficientemente seca cuando se agregue al suelo con la finalidad de que fluya libremente, por esto se debe mantener protegida de la humedad al momento de usarla. (NEVI-12-MTOP 2013).

Se tomará en consideración ciertas tolerancias para controlar el contenido de cala y su homogeneidad el cual será determinando el PH de la cal. Donde el PH mínimo será 11. (NEVI-12-MTOP 2013).

## **2.12 Fórmulas para el cálculo del CBR in situ.**

El equipo GeoGauge indica los datos de la rigidez del suelo y el módulo de Young. Es por lo que para obtener el CBR de los tramos de la vía se utiliza dos fórmulas la cuales una es empírica usada en España para la obtención del CBR in situ el cual la fórmula es (T)  $E = 10 \times CBR$ , como a su vez se utiliza la fórmula de Powell el cual es (P)  $E = 17.6(CBR)^{0.64}$  la cual se utiliza mayormente en Latinoamérica.

## **2.13 Comportamiento del CBR en suelos**

Normalmente el CBR incrementa con el número de golpes, pero en ciertos casos podría haber una disminución de este. Esto se debe a que el aumento del número de golpes causa una mayor densificación del suelo, lo que disminuye su capacidad portante y su resistencia. (Hussain 2017)

Esta disminución del CBR es más probable que ocurra en suelos granulares, en comparación a suelos finos ya que los suelos granulares tienen menor capacidad de resistir



deformación debido a sus partículas, porque al mayor número de golpes hacen que se acomoden más cerca unas de otras, disminuyendo su capacidad portante. También hay que considerar que cada suelo es único por lo tanto también dependerá de su composición densidad, humedad y otros factores por lo cual hay que hacer análisis específicos para determinar que suelo puede afectar este fenómeno.(Thai et al. 2022)

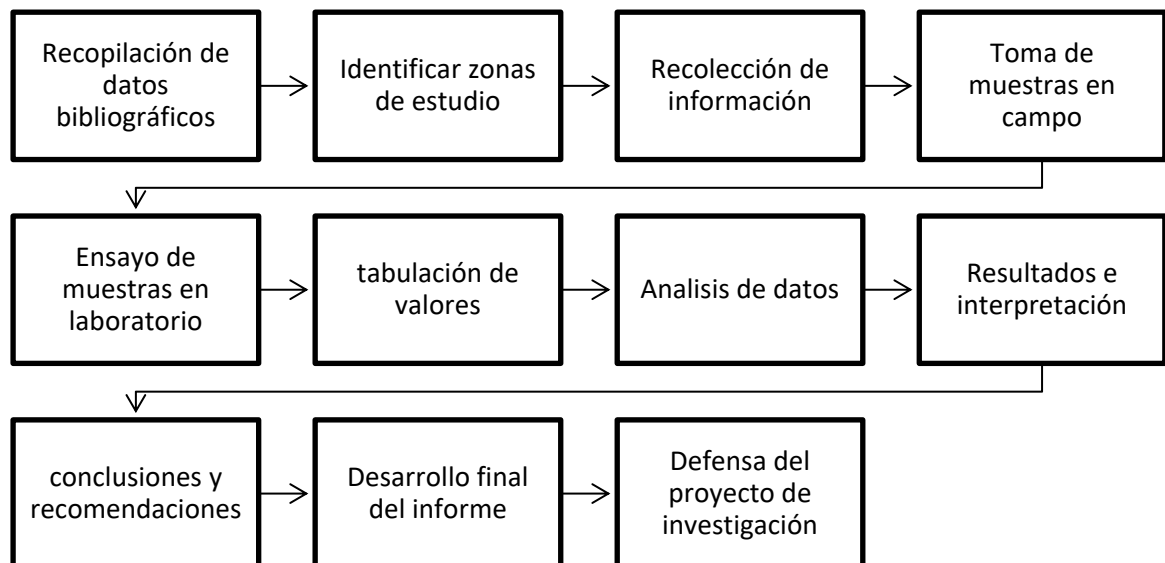
## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

### 3.1 Tipo de Investigación

Para desarrollar esta investigación debe ser cuantitativa ya que se recopila datos obtenidos mediante ensayos con los cuales se obtendrá un criterio para saber el porcentaje de cal óptima en las muestras obtenidas.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo de la metodología.*



### 3.2 Diseño de Investigación

Para esta investigación se basa en el diseño experimental en donde se trata de definir variables que podemos controlar y definir con la finalidad de poder hacer una exploración y análisis (Llopis Castelló 2018), así haciendo referencia a determinar qué porcentaje de cal

hace que el suelo tengo una mejora considerable en su capacidad portante. En conclusión, se tiene un diseño experimental con un enfoque cuantitativo.

### **3.3 Técnicas de recolección de datos**

Para el desarrollo de la investigación se realizó mediante una observación directa con ensayos de laboratorio definidos por la NEVI-12 y a su vez mediante exploración de campo con un equipo llamado GEOGAUGE. Se ensayó los diferentes estratos del suelo de la vía para obtener sus características, como también adicionando cal viva al suelo para determinar su mejoramiento en su capacidad portante de cada estrato. Para la recolección se hizo con estos ensayos:

#### **1. Granulometría (basada en la norma ASTM D-422-63)**

Este ensayo se realizó para los diferentes suelos sin añadir cal viva.

#### **2. Límite líquido (basada en la norma AASHTO T 89)**

Se realizó para el tipo de suelo que se puede ensayar.

#### **3. Límite plástico (basada en la norma AASHTO T 90)**

Se realizó para el tipo de suelo que se puede ensayar.

#### **4. Contenido de humedad (basada en la norma INEN 690)**

Este ensayo se realizó para los diferentes suelos sin añadir cal viva.

#### **5. Densidad de finos (basada en la norma ASTM C128)**

Este ensayo se realizó los tres tipos de suelo.

#### **6. Densidad de gruesos (basada en la norma ASTM C188 -95)**

Este ensayo se realizó para dos tipos de suelo los cuales contenían partículas necesarias para ensayar.

#### **7. Proctor modificado (basada en la norma ASTM D-1557)**

Este ensayo se realizó para los tres tipos de suelo.

#### **8. CBR (capacidad de soporte) (basada en la norma ASTM D-1883)**

Este ensayo se realizó para los tres tipos de suelo sin agregar cal. También se ensayó agregando 2,4 y 6% de cal viva con la finalidad de determinar la variación de la capacidad portante con cada porcentaje de cal viva agregada.

### **3.4 Población de estudio y tamaño de muestra**

#### **3.4.1. Población de estudio**

Las vías lastradas de segundo orden del cantón Alausí. Las cuales tienes diferentes tipos de suelo no analizados con anterioridad con sus respectivas características.

### **3.4.2. Muestra**

La vía Sibambe-Multitud del cantón Alausí que une la carretera panamericana E-47 con la carretera E487 la cual tienes 3 estratos de suelo los cuales fueron analizados.

### **3.5 Hipótesis**

Es importante tener buenas características en el suelo ya que así mejora la calidad de vida de la vía evitando un desgaste prematuro. Es por esto por lo que la adición de cal viva en la subrasante en vías de segundo orden aumente su capacidad portante, así como también reduciendo su costo en su diseño.

Con esta hipótesis plateada se va a realizar ensayos de los 3 estratos de suelo obtenido de la vía y adicionando cal viva para analizar el aumento de su capacidad portante.

### **3.6 Métodos de análisis y procesamiento de datos**

Para la obtención de los datos de la vía se procedió de la siguiente manera:

- a) Se procedió a ir a la vía Sibambe -Multitud y con el equipo de GEOGAUGE se toma los datos de módulo de elasticidad de diferentes tramos para obtener resultados parecidos para la estratificación del suelo.
- b) Con los datos obtenidos se obtuvo el CBR de cada uno para establecer que estado de capacidad portante se encuentra.
- c) Ya diferenciado los estratos se procede a realizar calicatas para la obtención de 200 kg de suelo para cada estrato para sus respectivos ensayos.
- d) Se realiza los ensayos de granulometría de los tres tipos de suelo.
- e) Se determina los límites de Atterberg de cada suelo para obtener el tipo de suelo que es.
- f) Se realiza ensayos de densidad de finos y gruesos para obtener las características de los suelos.

- g) Se realiza el ensayo de contenido de humedad para obtener con cuanta cantidad de agua se presenta en el suelo natural.
- h) Se realiza el ensayo de Proctor modificado con el fin de obtener los datos del suelo natural.
- i) Se procede a hacer los ensayos de CBR de cada uno de los suelos tanto natural como adicionando 2,4 y 6 % de cal viva.
- j) Se obtiene el CBR y se hace una comparación para obtener cuanto aumentó su capacidad portante.
- k) Se hace un diseño de estructura de vía para cada estrato y diferente porcentaje de cal para obtener espesores y proceder a su comparación.

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Resultados**

#### **4.1.1. Geología local de Alausí obtenidos del GAD Alausí.**

Con los datos brindados por el municipio se obtuvo un mapa geológico de los tipos de suelos según sus texturas y con ellos se obtiene los tipos de suelo por los que pasa la vía. Donde se encuentra suelos finos, medios y modernamente gruesos en la vía.

**Figura 2**

*Geología de la vía.*



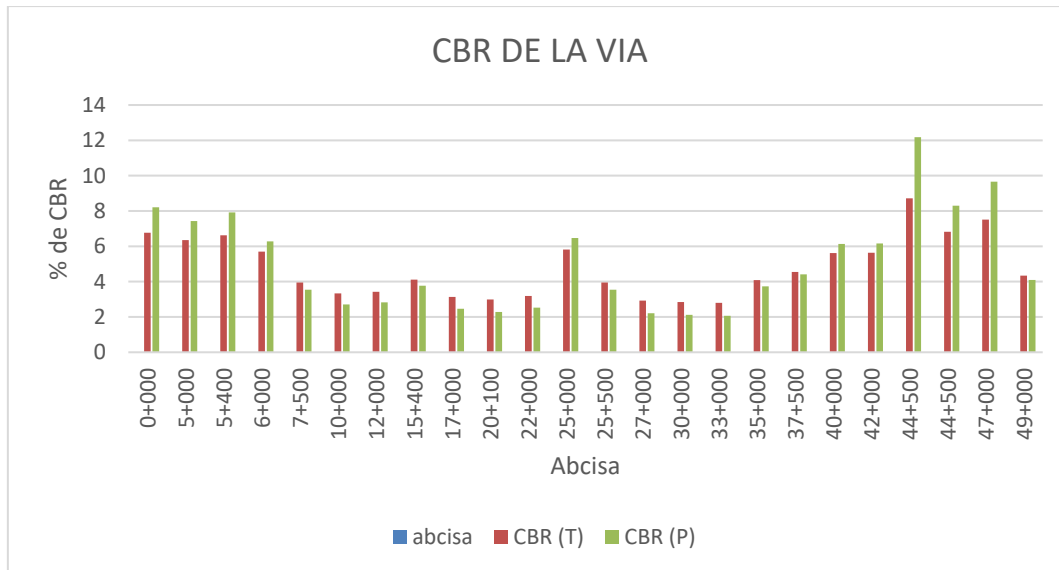
*En este gráfico se muestra los diferentes tipos de suelo que hay en Alausí específicamente en la vía Sibambe-Multitud.*

#### **4.1.2. Datos del CBR de la vía.**

Se obtuvo los valores del CBR de dos formas con la fórmula empírica (T) usada en España y la fórmula de Powell (P) como se muestra en la figura 3.

**Figura 3**

*CBR de la vía*



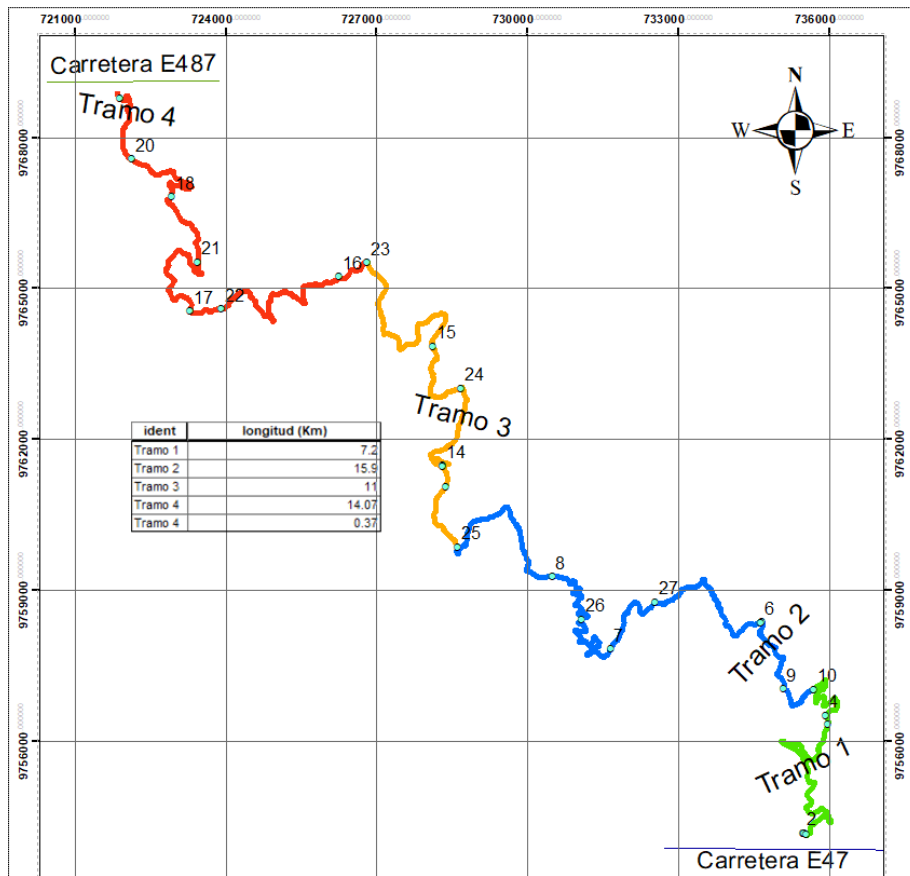
*En esta gráfica se muestra los CBR de la vía obtenido in situ utilizando dos métodos.*

#### **4.1.3. Tramos de la vía.**

Con los datos del CBR obtenidos previamente se procede a realizar un mapeo de la vía en el cual contenga distintos tramos donde se observa un tramo con un color y a su vez la longitud de estos.

**Figura 4**

*Mapa de la vía.*



#### 4.1.4. Granulometría de los suelos

Del análisis granulométrico de finos se obtuvo que del tramo 2 es SW (arena bien graduada, del tramo 3 es SW y del tramo 4 es SW. (los datos se encuentran en los anexos). La granulometría se puede observar en los anexos. No se presentó gruesos suficientes para hacer el ensayo de gruesos. Se obtuvo los siguientes coeficientes:

**Tabla 7**

*Coefficientes del tramo 2.*

Ensayo 1	
Coefficiente de Uniformidad, Cu	59.24
Coefficiente de curvatura, CC	2.87
Ensayo 2	
Coefficiente de Uniformidad, Cu	94.95
Coefficiente de curvatura, CC	4.47
Ensayo 3	
Coefficiente de Uniformidad, Cu	65.66

Coeficiente de curvatura, CC	3.9
------------------------------	-----

**Tabla 8**

*Coeficientes del tramo 3.*

Ensayo 1	
Coeficiente de Uniformidad, Cu	15.22
Coeficiente de curvatura, CC	0.6
Ensayo 2	
Coeficiente de Uniformidad, Cu	18.56
Coeficiente de curvatura, CC	2.39
Ensayo 3	
Coeficiente de Uniformidad, Cu	21.52
Coeficiente de curvatura, CC	2.65

**Tabla 9**

*Coeficientes del tramo 4.*

Ensayo 1	
Coeficiente de Uniformidad, Cu	113.41
Coeficiente de curvatura, CC	1.84
Ensayo 2	
Coeficiente de Uniformidad, Cu	63.84
Coeficiente de curvatura, CC	1.74
Ensayo 3	
Coeficiente de Uniformidad, Cu	66.43
Coeficiente de curvatura, CC	1.73

#### **4.1.5. Límites de Atterberg**

Debido a que el suelo 2 y 3 cerraban en 2 golpes en el ensayo de Casagrande no se pudo determinar el límite líquido y plástico. Para el suelo 4 se obtuvo como resultado que es un suelo arenoso bien graduado con contenido limoso de baja plasticidad.

**Tabla 10**

*Tabla de resultados de los límites Atterberg.*

muestra 1		
LL	32.78	%
LP	29.56	%
IP	3.23	
muestra 2		



LL	33.12	%
LP	29.87	%
IP	3.24	
muestra 3		
LL	33.56	%
LP	30.42	%
IP	3.14	

#### 4.1.6. Contenido de humedad

Los suelos 3 y 4 presentan un porcentaje de humedad promedio de 14.50% y 10.38% respectivamente. En cambio, el suelo 2 tiene un gran contenido de humedad el cual es de 60.68%.

**Tabla 11**

*Tabla de contenido de humedad de cada tramo.*

Tramos	muestra 1	muestra 2	muestra 3
Tramo 2	57.92%	61.04%	63.08%
Tramo 3	15.14%	14.58%	13.77%
Tramo 4	10.81%	10.02%	10.31%

#### 4.1.7. Densidad de finos

Se obtuvo la densidad de los suelos naturales.

**Tabla 12**

*Tabla de densidad de finos.*

Tramos	densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Tramo 2	1.18
Tramo 3	1.746
Tramo 4	1.80

#### 4.1.8. Densidad de gruesos.

Se obtuvo la densidad de dos suelos ya que uno carecía de suficientes partículas gruesas para realizar el ensayo.

**Tabla 13***Tabla de densidad de gruesos.*

Tramos	densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Tramo 3	2.22
Tramo 4	2.09

#### 4.1.9. Proctor modificado.

Se realizó el ensayo a los 3 suelos en los cuales se obtuvo los resultados que se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 14***Tabla de Proctor modificado.*

	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.34	2	1.87
% de Humedad	31.66	14.81	14.63

#### 4.1.10. Ensayo de CBR.

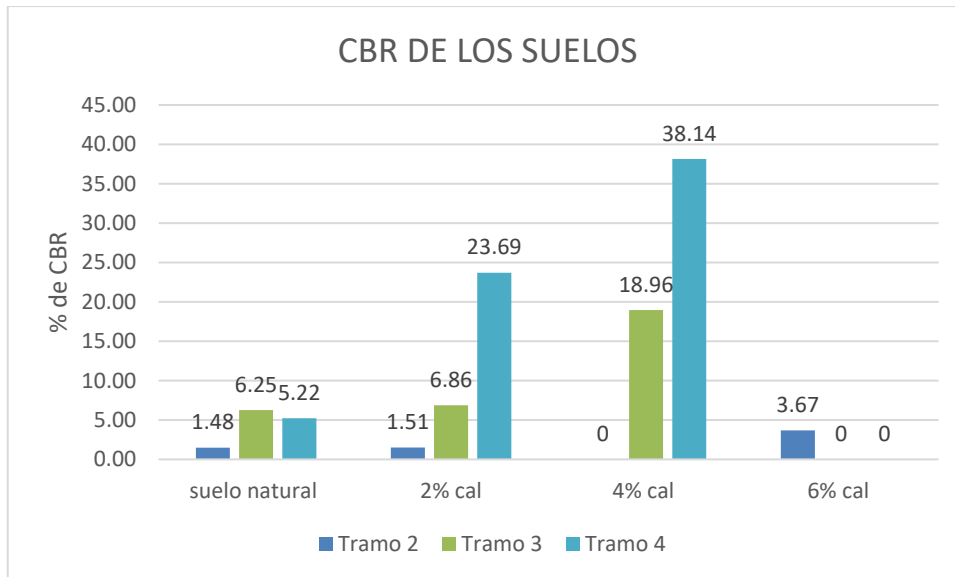
Se obtiene un aumento considerable del CBR con la adición de 4% de cal en la mayoría de los suelos excepto en el suelo 2 ya que con el 6% de cal añadida no hubo una mejora considerable en comparación a los demás (como se puede apreciar en las tablas 15 y 16 y figuras 5 y 6). Dando como resultado el usar el 4% de cal como adición óptima y económica.

**Tabla 15***Tabla del CBR de los suelos*

	CBR (%)		
	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
suelo natural	1.48	6.25	5.22
2% cal	1.51	6.86	23.69
4% cal	----	18.96	38.14
6% cal	3.67	----	-----

**Figura 5**

*Gráfica del CBR.*



*En esta gráfica contiene los porcentajes del CBR de cada tramo al suelo natural y con un porcentaje de cal añadido.*

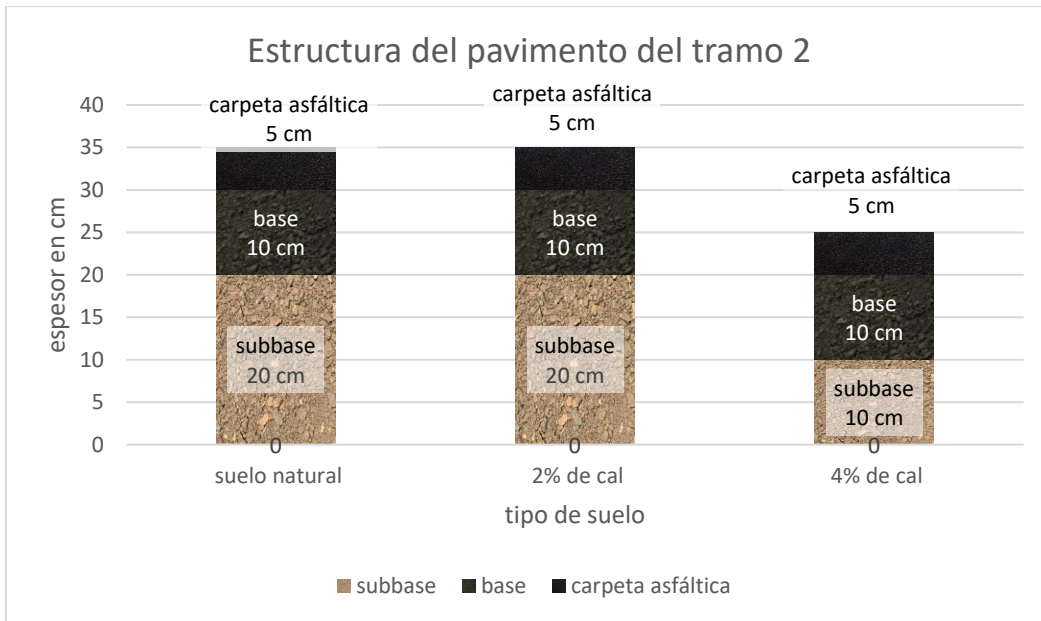
Con esta gráfica se puede observar el incremento de su capacidad portante con el 4% de cal viva. Al ser un gran aumento se considera que el porcentaje es adecuado para su colocación, aunque en el tramo 2 hubo una mejoría muy leve haciendo que se coloque un mayor porcentaje de cal, pero no sería muy viable por el gran uso de cal para su mejoramiento.

#### **4.1.11. Diseño de estructura de la vía por tramos**

Con los datos obtenidos del CBR se procedió a realizar un diseño de la estructura de la vía en la cual se obtuvo resultados con el suelo natural, el 2% de cal viva, 4% de cal y 6% de cal respectivamente (figura 7,9 y 11), así como sus números estructurales. (figura 8,10 y 12).

**Figura 6**

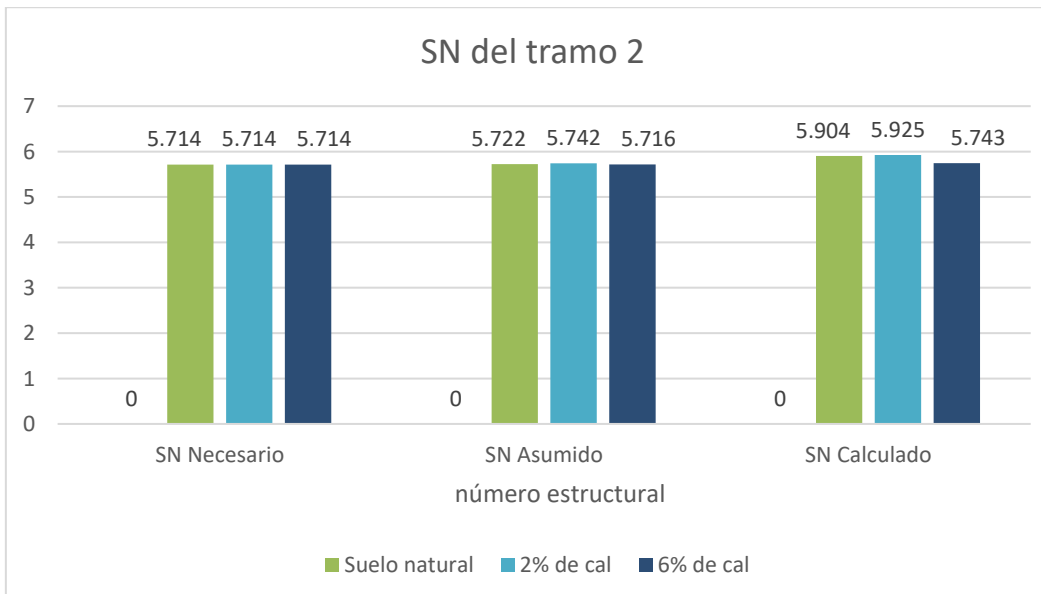
*Estructura del pavimento del tramo 2.*



*En esta gráfica se observa la estructura de pavimento y como se reduce su espesor a medida que incrementa el porcentaje de adición de cal.*

**Figura 7**

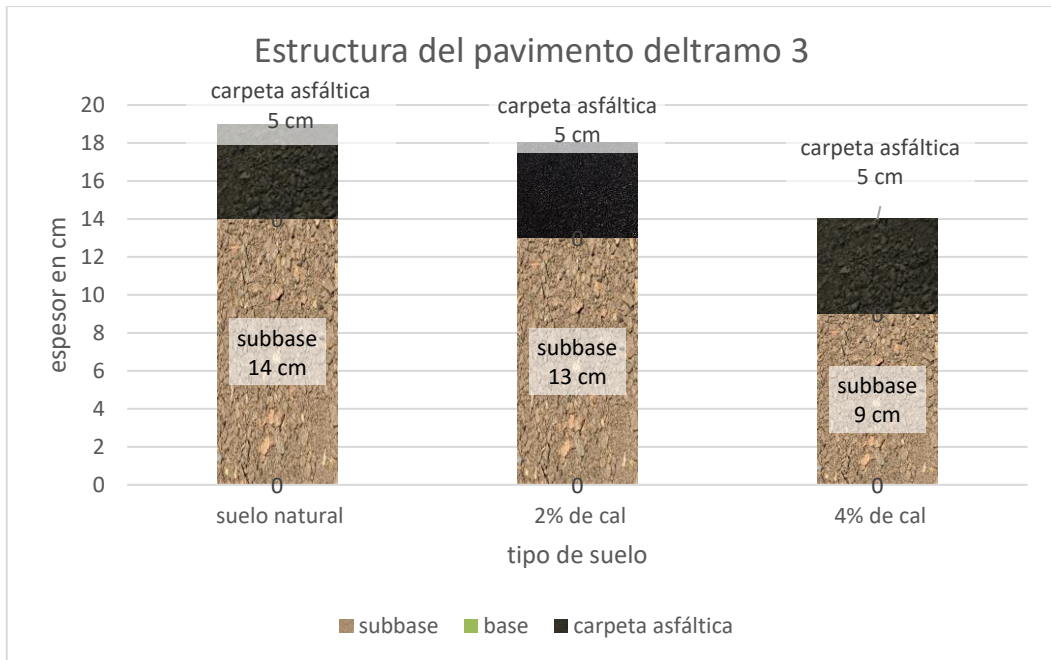
*Números estructurales del tramo 2.*



*En esta gráfica se muestra los diferentes tipos de números estructurales obtenidos a partir del diseño tanto para el suelo natural como con los porcentajes de cal obtenidos y su comparación.*

**Figura 8**

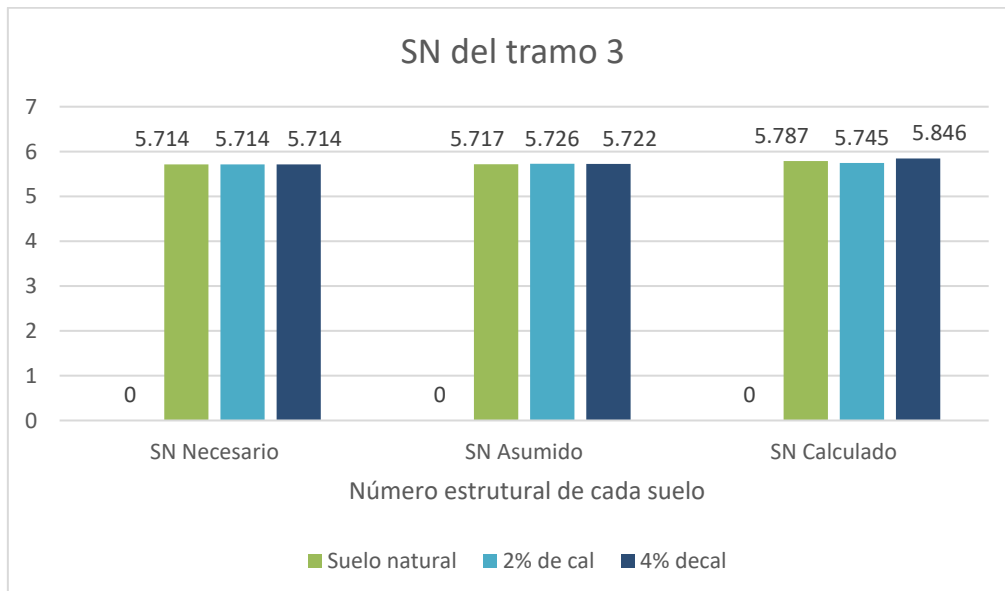
*Estructura del pavimento del tramo 3.*



*En esta gráfica se observa la estructura de pavimento y como se reduce su espesor a medida que incrementa el porcentaje de adicción de cal.*

**Figura 9**

*Estructura del pavimento del tramo 3.*



*En esta gráfica se muestra los diferentes tipos de números estructurales obtenidos a partir del diseño tanto para el suelo natural como con los porcentajes de cal obtenidos y su comparación.*

**Figura 10**

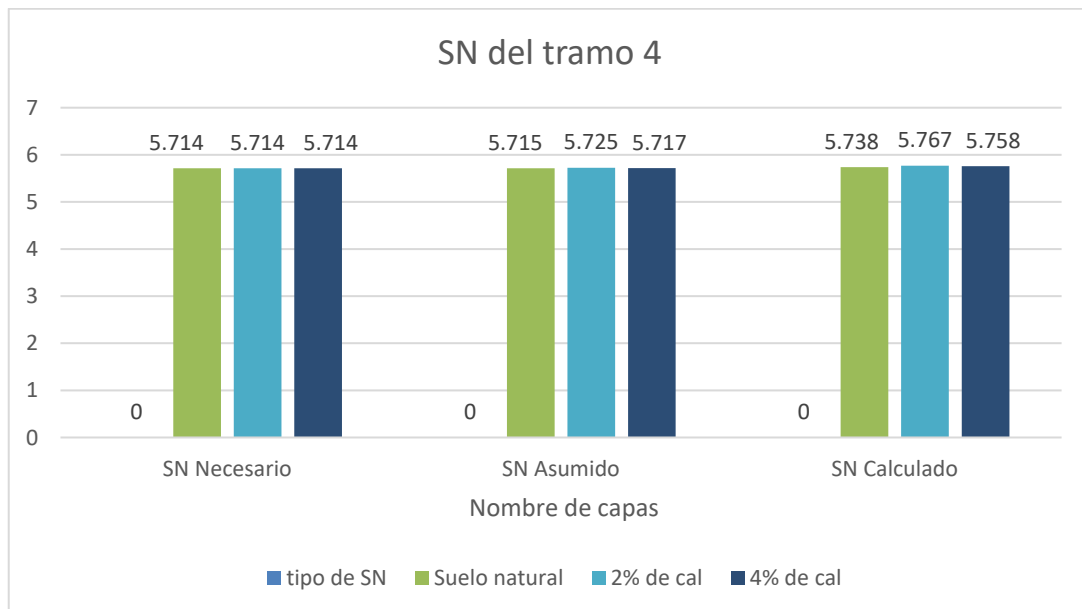
*Estructura del pavimento del tramo 4.*



*En esta gráfica se observa la estructura de pavimento y como se reduce su espesor a medida que incrementa el porcentaje de adición de cal.*

**Figura 11**

*Números estructurales del tramo 4.*



*En esta gráfica se muestra los diferentes tipos de números estructurales obtenidos a partir del diseño tanto para el suelo natural como con los porcentajes de cal obtenidos y su comparación.*

## 4.2 Discusión

### 4.2.1. Aumento del CBR en cada tramo.

Con los datos obtenidos se puede hacer una comparación como se muestra en la figura 13 de cuanto aumento el CBR con respecto al del suelo natural mediante porcentajes

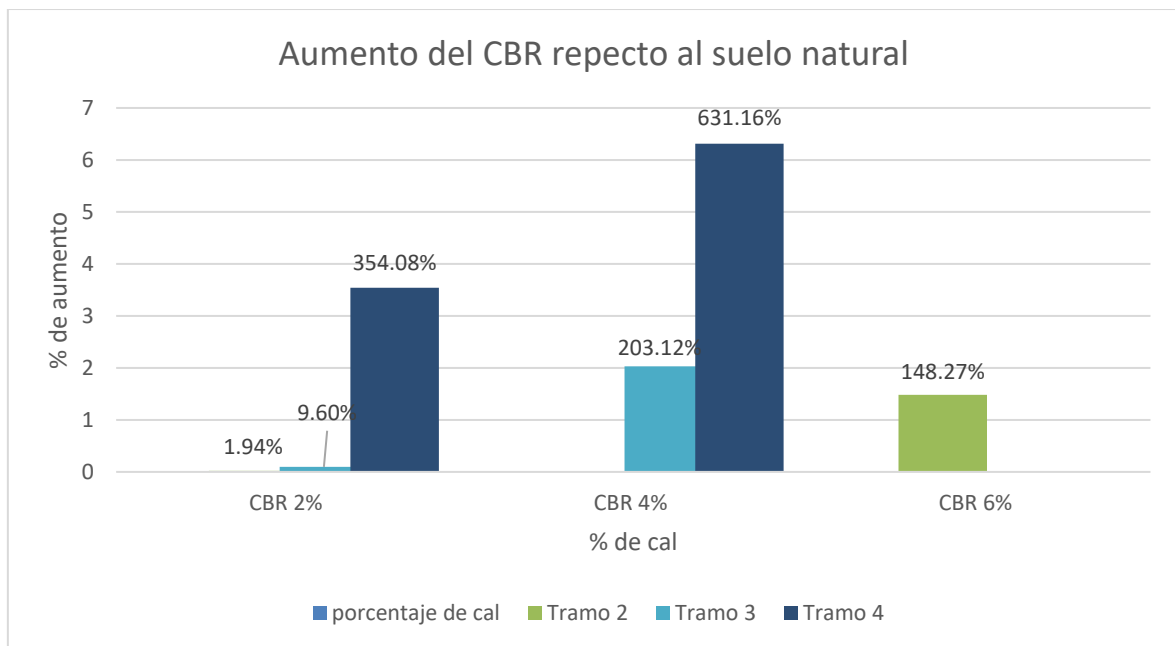
En el tramo 2 el aumento del CBR respecto al porcentaje de cal viva colocada es muy bajo en comparación con los otros suelos. Debido que al 2 % de cal solo aumento un 1.94% respecto al CBR del suelo natural y con el 6% de cal aumento un 148.27% lo cual hace que no sea necesario realizar al 4% de cal ya que el aumento es muy bajo.

Para el tramo 3 se obtuvo un aumento considerable respecto al suelo natural con un 9.60% de aumento al 2% de cal viva y con el 203.12% de aumento al 4% de cal viva.

Para el tramo 4 se obtuvo un aumento del 354.08% con el 2% de cal viva. Para el 4% de cal viva se obtuvo un 631.16% de aumento.

**Figura 12**

*Aumento del CBR respecto al suelo natural.*



*En esta gráfica se muestra la comparación de cuanto aumento el CBR con la adición de cal respecto al CBR obtenido del suelo natural sin agregar cal.*

### 4.2.2. Comparación del espesor de la estructura de la vía con la adición de cal

Para el tramo 2 en comparación con el suelo natural en el 2% de cal no hay una disminución del espesor debido al aumento mínimo del CBR. Con el 6% de cal se reduce 10 cm lo cual es una disminución considerable.

Para el tramo 3 la disminución del espesor es alta y a su vez no se coloca base. Con el 2% de cal respecto al suelo natural se reduce 1 cm y con el 4% de cal se reduce un 5 cm, haciendo un ahorro considerable.

Para el tramo 4 al igual que el estrato anterior no hay adición de base y la reducción de la subbase con el 2% de cal viva es 4 cm y con el 4% de cal es 5 cm.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

- a) Los diferentes tramos analizados son similares a la información obtenida por el GAD municipal Alausí. Estos suelos son granulares con presencia de limos.
- b) Con los datos de la vía conseguidos se dividió en 3 tramos, donde el tramo 2 su CBR se encuentra entre 2.7 – 3.4%. Para el tramo 3 su CBR está entre 2.1 – 3.55% y en el tramo 4 el CBR está entre 3.3 – 9.6%
- c) En el tramo 2 se tiene en los suelos de la subrasante arenas bien graduadas del tipo SW en la clasificación SUCS, contenido de humedad de 60.68%, densidad máxima de 1.34 g/cm<sup>3</sup> a una humedad óptima de 31.66%.
- d) En el tramo 3 se tiene en los suelos de la subrasante arenas bien graduadas del tipo SW en la clasificación SUCS, contenido de humedad de 14.50%, densidad máxima de 2 g/cm<sup>3</sup> a una humedad óptima de 14.81%.
- e) En el tramo 4 se tiene en los suelos de la subrasante arenas bien graduadas del tipo SW en la clasificación SUCS con limos de baja plasticidad, contenido de humedad de 10.38%, densidad máxima de 1.87 g/cm<sup>3</sup> a una humedad óptima de 14.63%.
- f) Mediante el ensayo del CBR en laboratorio se obtuvo los siguientes resultados para el tramo 2. En suelo natural se obtuvo un CBR de 1.48%, con la adición de 2 % de cal se obtuvo un valor de 1.51% y con el 6% de adición de cal se obtuvo un valor de 3.67%.



- g) Para el tramo 3 se obtuvo los siguientes valores de CBR: para el suelo natural de 6.25%, con la adición de 2% de cal se obtuvo un valor de 6.86% y para el 4% de adición de cal se obtuvo el 18.86%.
- h) Para el tramo 4 se obtuvo los siguientes valores de CBR: para el suelo natural de 5.22%, con la adición de 2% de cal se obtuvo un valor de 23.69% y para el 4% de adición de cal se obtuvo el 38.14%.
- i) Con el ensayo de CBR en laboratorio mediante las dosificaciones de 2%,4% y 6% de cal viva se obtuvo resultados favorables para cada porcentaje utilizado, siendo en el tramo 2 un aumento máximo del 148.27% al 6% de cal siendo un valor bajo en comparación de los demás tramos debido a la poca cohesión del suelo con la cal. Para el tramo 3 se obtuvo un aumento máximo del 203.12% al 4% de cal y para el tramo 4 se obtuvo un aumento máximo de 631.16% al 4% de cal.
- j) Mediante los ensayos y los resultados la dosificación más adecuada es el 4% de adición de cal ya que hay un gran aumento del CBR respecto al suelo natural además de que un porcentaje económico para su uso.

## **5.2 Recomendaciones**

- a) Se sugiere realizar investigaciones sobre la viabilidad de la estabilización de suelos con cal y su influencia en el ahorro del mantenimiento en comparación a vías lastradas o tierra.
- b) Analizar la durabilidad y resistencia al agua del suelo estabilizado mediante estudios.
- c) Implementar materiales alternativos que puedan reducir el costo de la estabilización.
- d) Plantear modelos de gestión de carreteros aplicando estabilización de suelos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Altarmirano, G., and Díaz, A. (2015). “Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas.” 151, 10–17.
- Angulo y Zavaleta. (2020). “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, Distrito San Juan – Maynas – Iquitos.” *Universidad Científica Del Perú - Ucp*, 166.
- ASTM. (1998). “Análisis del tamaño de las partículas de suelo.” D-422-63.
- Bayas., E. G. G. (2015). “FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Trabajo de Titulación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil.” 136.
- Cárdenas, A., and Donoso, A. (2008). “Proposición de una Metodología Particular para Obtener la Capacidad de Soporte para Suelos Granulares sin Curva Proctor Definida.” 211.
- Chimborazo, G. A. D. de. (2019). “Plan vial integral.” 9–25.
- Construcción digital Keobra México. (2021). “Usos de la cal en construcción y sus proporciones.” <<https://keobra.com/ usos-de-la-cal-en-construccion>> (Jul. 19, 2022).
- Duque, G., and Escobar, C. (2016). “Geomecánica.” *Universidad Nacional de Colombia*, 402.
- E-asfalto. (2016). “Red vial del Ecuador.” <<http://www.e-asfalto.com/redvialecuador/>>.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausi. (2015). “Atlas de Mapas del Cantón Alausí.”
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Alausi. (2020). “PDOT cantón Alausí.” *Syria Studies*, 7(1), 37–72.
- Gómez, M. (2018). “ESTABILIZACION DE UN SUELO CON CAL Y CENIZA VOLANTE.” *Journal of Materials Processing Technology*, 1(1), 1–8.
- Hussain, S. (2017). “Effect of Compaction Energy on Engineering Properties of Expansive Soil.” *Civil Engineering Journal, Italian Journal of Science and Engineering*, 3(8), 610.
- Instituto tecnológico de aeronáutica. (2018). “Pavimento Flexible (Partes que componen su estructura).” <<https://www.cuevadelcivil.com/2010/06/componentes-de-un-pavimento.html>> (Jul. 19, 2022).
- Llopis Castelló, D. (2018). “Metodología experimental.” (Figura 1), pág. 1-15.

- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2012). “Volumen No. 2 - Libro A Norma para estudios y diseños viales.” *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*, Volumen 2A, 1–382.
- Moale Quispe, A. B., and Rivera Justo, E. J. (2019a). “Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica.” *Tesis pregrado*, 106.
- Moale Quispe, A. B., and Rivera Justo, E. J. (2019b). “Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica.” *Tesis pregrado*, 106.
- NEVI-12-MTOP. (2013). “Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.” *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador*, 3, 1028.
- Niño, J. (2019). “Estudio De Suelos Y Analisis Geotécnico Del Sector Ubicado En El K4+180 De La Via Puente Reyes-Gamez.” *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- PEREZ, E. E. S., and PATERNINA, M. A. V. (2012). “Correlacion Entre El Metodo Geogauge Del Cono De Arena Para Determinar La Densidad Del Suelo En El Campo.” *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1–99.
- Quezada Osoria, S. E. (2017). “Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación.” *Universidad de Piura.*, 1(2017), 1–122.
- Santamar, J., Guerrero, A., Molina, E. D. A., De Luis Ruiz, J. M., and Alcántara García, D. A. (2005). “Tabla de clasificación de suelo SUCS.” *I*, 161.
- Thai, H. N., Nguyen, T. D., Nguyen, V. T., Nguyen, H. G., and Kawamoto, K. (2022). “Characterization of compaction and CBR properties of recycled concrete aggregates for unbound road base and subbase materials in Vietnam.” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Springer Japan, 24(1), 34–48.
- UTC. (2016). “AREA CONSTRUCCIÓN Asignatura: Introducción a la Mecánica de Suelos Código: CO 0707/G03/Clasificación de Suelos.” (c), 1–18.

## **ANEXOS**



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

Riobamba, 09 de marzo de 2023

**CERTIFICADO**

A petición verbal del Sr. Yunga Silva Alexander Santiago con C.I. 060394777-1, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, debo certificar que el Sr. Yunga, durante los meses de octubre y noviembre del año 2022, realizó los ensayos que se detallan a continuación:

- Contenido de Humedad
- Granulometría de agregados finos
- Densidad de agregados finos
- Densidad de agregados gruesos
- Ensayo Próctor Modificado
- Ensayo CBR
- Ensayo con Equipo GEOGAUGE

Los ensayos antes mencionados fueron ejecutados en los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo, como parte del Proyecto de Investigación: "Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí".

Es todo lo que puedo informar, pudiendo el interesado hacer uso del presente certificado como creyeran 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 ½ vía a Guano  
Teléfono: (593)33730880 Ext: 1428  
RIOBAMBA – CHIMBORAZO - ECUADOR

*Tecnología, Humanismo y Calidad*

**Anexo 1:** Certificado de ensayos de laboratorio.



Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 12/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de ingeniería civil

Tamiz	abertura [mm]	peso retenido [kg]	retenido parcial [%]	retenido acumulado [%]	pasa [%]
3/8"	9,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
N° 4	4,75	0,285	28,59%	28,59%	71,41%
N° 10	2	0,293	29,39%	57,97%	42,03%
N° 20	0,85	0,216	21,66%	79,64%	20,36%
N° 40	0,425	0,084	8,43%	88,06%	11,94%
N° 100	0,15	0,079	7,92%	95,99%	4,01%
N° 200	0,075	0,033	3,31%	99,30%	0,70%
bandeja		0,011	1,10%	100,00%	0,00%
total		1,001			

coeficiente de uniformidad, Cu	65,66
Coefficiente de curvatura, Cc	3,90

de mayor a menor	de menor a mayor	D10	0,057
9,5	100,00%	0,075	0,70%
4,75	71,41%	0,150	4,01%
2	42,03%	0,425	11,94%
0,85	20,36%	0,850	20,36%
0,425	11,94%	2,000	42,03%
0,15	4,01%	4,750	71,41%
0,075	0,70%	9,500	100,00%
		4,75	71,41%



Reporte de resultados:  
D10: 0.057  
D20: 0.905  
D60: 3.713

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería civil

Anexo 2: Ensayo de granulometría tramo 2.



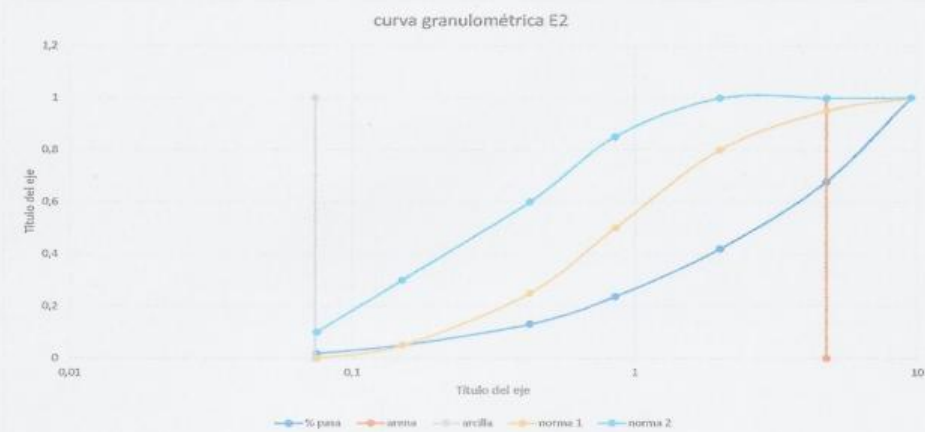
Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 12/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por: Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de ingeniería civil

Tamiz	apertura [mm]	peso retenido [kg]	retenido parcial [%]	retenido acumulado [%]	pasa [%]
3/8"	9,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
N° 4	4,75	0,321	32,20%	32,20%	67,80%
N° 10	2	0,257	25,78%	57,97%	42,03%
N° 20	0,85	0,188	18,86%	76,83%	23,67%
N° 40	0,425	0,105	10,53%	86,86%	13,14%
N° 100	0,15	0,08	8,02%	94,88%	5,12%
N° 200	0,075	0,033	3,31%	98,19%	1,81%
bandeja		0,023	2,31%	100,00%	0,00%
total		1,002			

coeficiente de uniformidad, Cu	59,24
Coefficiente de curvatura, Cc	2,87

de mayor a menor	de menor a mayor	D10	0,068
9,5	100,00%	0,075	1,81%
4,75	67,80%	0,150	5,12%
2	42,03%	0,425	13,14%
0,85	23,67%	0,850	23,67%
0,425	13,14%	2,000	42,03%
0,15	5,12%	4,750	67,80%
0,075	1,81%	9,500	100,00%
		4,75	67,80%



Reporte de resultados:  
D10: 0,068  
D20: 0,892  
D60: 4,049

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería civil

Anexo 3: Ensayo de granulometría tramo 2.





Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 13/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de Ingeniería Civil

Tamiz	apertura [mm]	peso retenido [kg]	retenido parcial [%]	retenido acumulado [%]	pasa [%]
3/8"	9,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
N° 4	4,75	0,358	35,91%	35,91%	64,09%
N° 10	2	0,307	30,79%	66,70%	33,30%
N° 20	0,85	0,182	18,25%	84,95%	15,05%
N° 40	0,425	0,077	7,72%	92,68%	7,32%
N° 100	0,15	0,053	5,32%	97,99%	2,01%
N° 200	0,075	0,013	1,30%	99,30%	0,70%
bandeja		0,007	0,70%	100,00%	0,00%
total		0,997			

coeficiente de uniformidad, Cu	15,22
Coefficiente de curvatura, Cc	0,60

de mayor a menor	de menor a mayor	D10	0,316		
9,5	100,00%	0,075	0,70%	0,43	7,32%
4,75	64,09%	0,150	2,01%	0,85	15,05%
2	33,30%	0,425	7,32%	D30	0,953
0,85	15,05%	0,850	15,05%	0,85	15,05%
0,425	7,32%	2,000	35,30%	2,00	33,30%
0,15	2,01%	4,750	64,09%	D60	4,808
0,075	0,70%	9,500	100,00%	2,00	33,30%
				4,75	64,09%



Reporte de resultados:  
D10: 0.316  
D20: 0.953  
D60: 4.808

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de Investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 4: Ensayo de granulometría tramo 2.





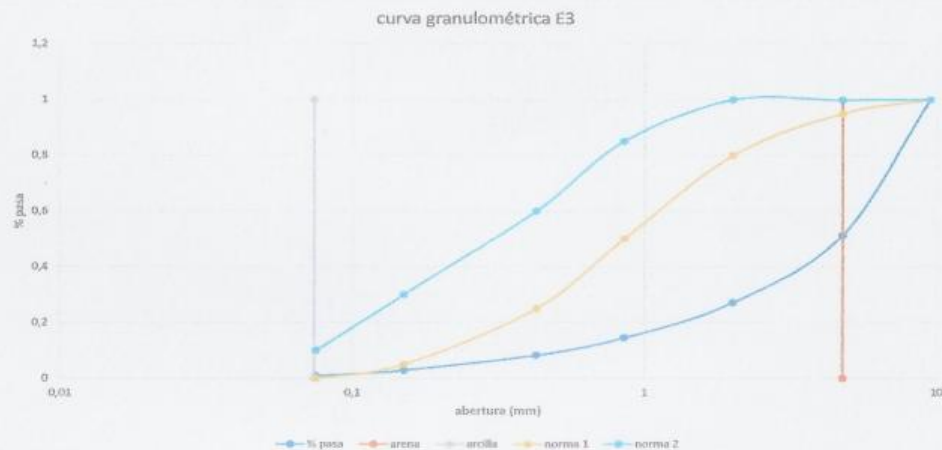
Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 13/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de ingeniería civil

Tamiz	apertura [mm]	peso retenido [kg]	retenido parcial [%]	retenido acumulado [%]	pasa [%]
3/8"	9,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
N° 4	4,75	0,485	48,65%	48,65%	51,35%
N°10	2	0,241	24,17%	72,82%	27,18%
N° 20	0,85	0,126	12,64%	85,46%	14,54%
N° 40	0,425	0,062	6,22%	91,68%	8,32%
N° 100	0,15	0,054	5,42%	97,09%	2,91%
N° 200	0,075	0,02	2,01%	99,10%	0,90%
bandeja		0,012	1,20%	100,00%	0,00%
total		1			

coeficiente de uniformidad, Cu	18,56
Coefficiente de curvatura, CC	2,39

de mayor a menor	de menor a mayor	D10	0,338		
9,5	100,00%	0,075	0,90%	0,43	8,32%
4,75	51,35%	0,150	2,91%	0,85	14,54%
2	27,18%	0,425	8,32%	D30	2,250
0,85	14,54%	0,850	14,54%	2,00	27,18%
0,425	8,32%	2,000	27,18%	4,75	51,35%
0,15	2,91%	4,750	51,35%	D60	6,266
0,075	0,90%	9,500	100,00%	4,75	51,35%
				9,50	100,00%



Reporte de resultados:

D10: 0,338  
D20: 2,250  
D60: 6,266

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de ingeniería civil

Anexo 5: Ensayo de granulometría tramo 3.



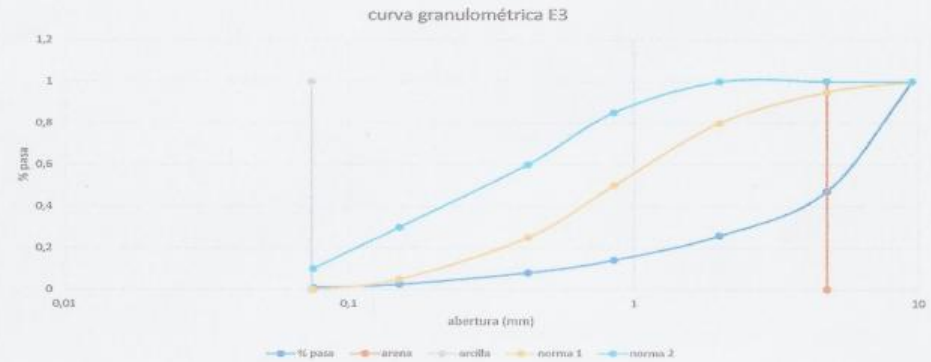
Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 13/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de ingeniería civil

Tamiz	apertura (mm)	peso retenido [kg]	retenido parcial [%]	retenido acumulado [%]	pasa [%]
3/8"	9,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
N° 4	4,75	0,527	52,86%	52,86%	47,14%
N°10	2	0,212	21,26%	74,12%	25,88%
N° 20	0,85	0,117	11,74%	85,86%	14,14%
N° 40	0,425	0,061	6,12%	91,98%	8,02%
N° 100	0,15	0,054	5,42%	97,39%	2,61%
N° 200	0,075	0,016	1,60%	99,00%	1,00%
bandeja		0,009	0,90%	99,90%	0,10%
total		0,996			

coeficiente de uniformidad, $C_u$	21,52
Coeficiente de curvatura, $C_C$	2,65

de mayor a menor		de menor a mayor		D10	0,322
9,5	100,00%	0,075	1,00%	0,43	8,02%
4,75	47,14%	0,150	2,61%	0,85	14,14%
2	25,88%	0,425	8,02%	D30	2,433
0,85	14,14%	0,850	14,14%	2,00	25,88%
0,425	8,02%	2,000	25,88%	4,75	47,14%
0,15	2,61%	4,750	47,14%	D60	6,939
0,075	1,00%	9,500	100,00%	4,75	47,14%
				9,50	100,00%



Reporte de resultados:

D10: 0,322  
D20: 2,433  
D60: 6,939

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de ingeniería civil

Anexo 6: Ensayo de granulometría tramo 3.



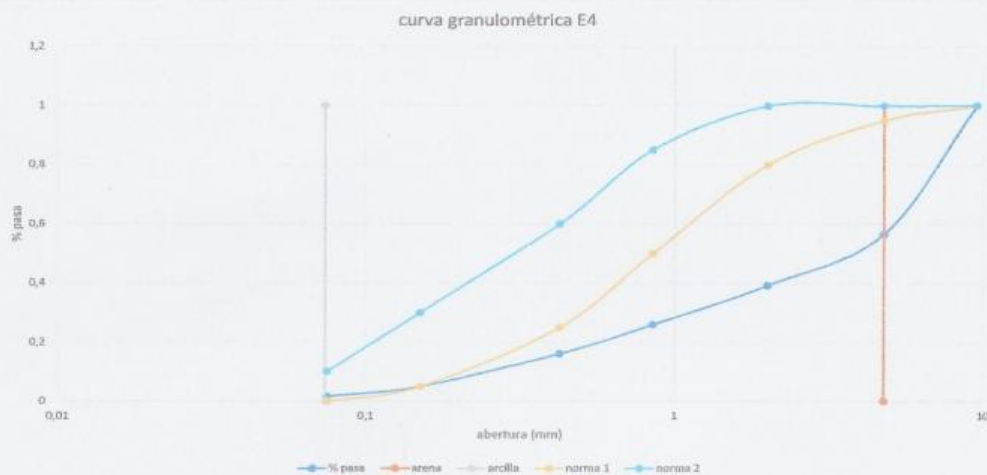
Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 14/10/2022  
Fecha de Informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de ingeniería civil

Tamiz	abertura [mm]	peso retenido [kg]	retenido parcial [%]	retenido acumulado [%]	pasa [%]
3/8"	9,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
N° 4	4,75	0,438	43,43%	43,43%	56,57%
N°10	2	0,178	17,35%	60,78%	39,22%
N° 20	0,85	0,132	13,24%	74,02%	25,98%
N° 40	0,425	0,098	9,83%	83,85%	16,15%
N° 100	0,15	0,111	11,13%	94,98%	5,02%
N° 200	0,075	0,034	3,41%	98,40%	1,60%
bandeja		0,019	1,91%	100,00%	0,00%
total		1			

coeficiente de uniformidad, Cu	63,84
Coeficiente de curvatura, CC	1,74

de mayor a menor	de menor a mayor	D10	0,084
9,5	100,00%	0,075	1,60%
4,75	56,57%	0,150	5,02%
2	39,22%	0,425	16,15%
0,85	25,98%	0,850	25,98%
0,425	16,15%	2,000	39,22%
0,15	5,02%	4,750	56,57%
0,075	1,60%	9,500	100,00%



Reporte de resultados:  
Cu: 63,84  
CC: 1,74

Alexander Santiago Yunga Silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Fold  
Técnica de los laboratorios de ingeniería civil

Anexo 7: Ensayo de granulometría tramo 4.



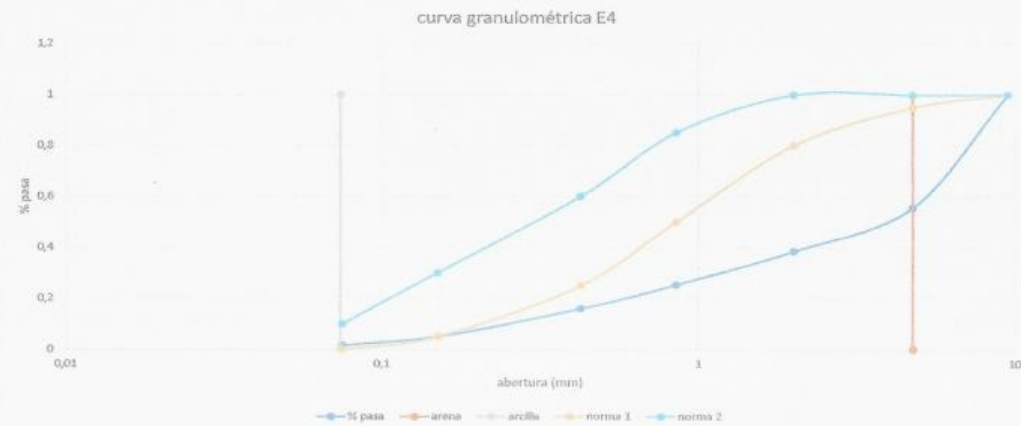
Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 14/10/2022  
Fecha de Informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de Ingeniería Civil

Tamiz	apertura [mm]	paso retenido [kg]	retenido parcial [%]	retenido acumulado [%]	pasa [%]
3/8"	9,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
N° 4	4,75	0,442	44,83%	44,83%	55,67%
N°10	2	0,172	17,25%	61,58%	38,42%
N° 20	0,85	0,131	13,14%	74,72%	25,28%
N° 40	0,425	0,093	9,33%	84,05%	15,95%
N° 100	0,15	0,109	10,93%	94,98%	5,02%
N° 200	0,075	0,034	3,41%	98,40%	1,60%
bandeja		0,02	2,01%	100,00%	0,00%
total		1,001			

coeficiente de uniformidad , Cu	66,43
Coefficiente de curvatura, CC	1,73

de mayor a menor		de menor a mayor		D10	0,083
9,5	100,00%	0,075	1,60%	0,15	5,02%
4,75	55,67%	0,150	5,02%	0,43	15,95%
2	38,42%	0,425	15,95%	D30	0,894
0,85	25,28%	0,850	25,28%	0,85	25,28%
0,425	15,95%	2,000	38,42%	2,00	38,42%
0,15	5,02%	4,750	55,67%	D60	5,531
0,075	1,60%	9,500	100,00%	4,75	55,67%
				9,50	100,00%



Reporte de resultados:  
Cu: 66,43  
CC: 1,73

Alexander Santiago Yunga Silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

Anexo 8: Ensayo de granulometría tramo 4.





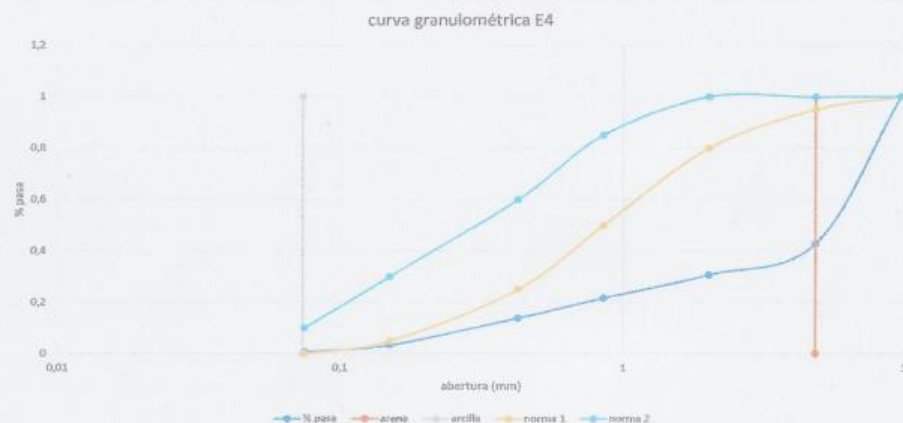
Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 14/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por: Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de Ingeniería Civil

Tamiz	apertura [mm]	peso retenido [kg]	retenido parcial [%]	retenido acumulado [%]	pasa [%]
3/8"	9,5	0	0,00%	0,00%	100,00%
Nº 4	4,75	0,57	57,17%	57,17%	42,83%
Nº 10	2	0,121	12,14%	69,31%	30,69%
Nº 20	0,85	0,09	9,03%	78,34%	21,66%
Nº 40	0,425	0,077	7,72%	86,06%	13,94%
Nº 100	0,15	0,105	10,53%	96,59%	3,41%
Nº 200	0,075	0,027	2,71%	99,30%	0,70%
bandeja		0,014	1,40%	100,00%	0,00%
total		1,004			

coeficiente de uniformidad, Cu	113,41
Coeficiente de curvatura, CC	1,84

de mayor a menor	de menor a mayor	D10	0,057
9,5	100,00%	0,075	0,70%
4,75	42,83%	0,150	3,41%
2	30,69%	0,425	13,94%
0,85	21,66%	0,850	21,66%
0,425	13,94%	2,000	30,69%
0,15	3,41%	4,750	42,83%
0,075	0,70%	9,500	100,00%
		9,50	100,00%





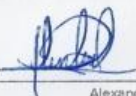


Reporte de resultados:  
Cu: 113,41  
CC: 1,84

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

### Anexo 9: Ensayo de granulometría tramo 4.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHOMBORAZO Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería Civil Informe de laboratorio																																																																										
ENSAYO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD		Página: 1:1																																																																								
Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Aleusí. Fecha de ensayo: 25/10/2022 Fecha de Informe: 22/02/2023		Ensayado por : Alexander Yunga Revisado por: Ing. Carlos Saldaña Procedencia: Laboratorio de ingeniería civil																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Estrato 2</th> <th>P41</th> <th>C3-H4</th> <th>B7-6xx</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>peso de agua</td> <td>12,8</td> <td>14,1</td> <td>12,3</td> </tr> <tr> <td>peso humedo inicial</td> <td>34,9</td> <td>37,2</td> <td>31,8</td> </tr> <tr> <td>peso seco</td> <td>22,1</td> <td>23,1</td> <td>19,5</td> </tr> <tr> <td>porcentaje de humedad</td> <td>57,92%</td> <td>61,04%</td> <td>63,08%</td> </tr> <tr> <td>humedad promedio</td> <td colspan="3">60,68%</td> </tr> </tbody> </table>	Estrato 2	P41	C3-H4	B7-6xx	peso de agua	12,8	14,1	12,3	peso humedo inicial	34,9	37,2	31,8	peso seco	22,1	23,1	19,5	porcentaje de humedad	57,92%	61,04%	63,08%	humedad promedio	60,68%			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Estrato 3</th> <th>H</th> <th>V12</th> <th>A10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>peso de agua</td> <td>6,1</td> <td>5</td> <td>5,06</td> </tr> <tr> <td>peso humedo inicial</td> <td>46,4</td> <td>39,3</td> <td>41,8</td> </tr> <tr> <td>peso seco</td> <td>40,3</td> <td>34,3</td> <td>36,74</td> </tr> <tr> <td>porcentaje de humedad</td> <td>15,14%</td> <td>14,58%</td> <td>13,77%</td> </tr> <tr> <td>humedad promedio</td> <td colspan="3">14,50%</td> </tr> </tbody> </table>	Estrato 3	H	V12	A10	peso de agua	6,1	5	5,06	peso humedo inicial	46,4	39,3	41,8	peso seco	40,3	34,3	36,74	porcentaje de humedad	15,14%	14,58%	13,77%	humedad promedio	14,50%			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Estrato 4</th> <th>P5-B8</th> <th>H6</th> <th>M3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>peso de agua</td> <td>5,1</td> <td>5,5</td> <td>5,3</td> </tr> <tr> <td>peso humedo inicial</td> <td>52,3</td> <td>60,4</td> <td>56,7</td> </tr> <tr> <td>peso seco</td> <td>47,2</td> <td>54,9</td> <td>51,4</td> </tr> <tr> <td>porcentaje de humedad</td> <td>10,81%</td> <td>10,02%</td> <td>10,31%</td> </tr> <tr> <td>humedad promedio</td> <td colspan="3">10,38%</td> </tr> </tbody> </table>	Estrato 4	P5-B8	H6	M3	peso de agua	5,1	5,5	5,3	peso humedo inicial	52,3	60,4	56,7	peso seco	47,2	54,9	51,4	porcentaje de humedad	10,81%	10,02%	10,31%	humedad promedio	10,38%		
Estrato 2	P41	C3-H4	B7-6xx																																																																							
peso de agua	12,8	14,1	12,3																																																																							
peso humedo inicial	34,9	37,2	31,8																																																																							
peso seco	22,1	23,1	19,5																																																																							
porcentaje de humedad	57,92%	61,04%	63,08%																																																																							
humedad promedio	60,68%																																																																									
Estrato 3	H	V12	A10																																																																							
peso de agua	6,1	5	5,06																																																																							
peso humedo inicial	46,4	39,3	41,8																																																																							
peso seco	40,3	34,3	36,74																																																																							
porcentaje de humedad	15,14%	14,58%	13,77%																																																																							
humedad promedio	14,50%																																																																									
Estrato 4	P5-B8	H6	M3																																																																							
peso de agua	5,1	5,5	5,3																																																																							
peso humedo inicial	52,3	60,4	56,7																																																																							
peso seco	47,2	54,9	51,4																																																																							
porcentaje de humedad	10,81%	10,02%	10,31%																																																																							
humedad promedio	10,38%																																																																									
Reporte de resultados Estrato 2: 60,68% Estrato 3 : 14,5 % Estrato 4 : 10,38 %																																																																										
 Alexander Santiago Yunga silva Estudiante	 Ing. Carlos Saldaña Tutor del trabajo de investigación	 Ing. Cristina Polo Técnica de los laboratorios de ingeniería civil																																																																								

**Anexo 10: Ensayo de contenido de humedad.**



Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 21/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de Ingeniería Civil

estrato 4	
charola S	2805,9 g
C 5 sin agua	1692,7 g
pinometro con agua no lleno	690,1 g
pinometro con muestra y agua media	1188,5 g
pinometro con muestra y agua completo	1503,6 g
pinometro de eliminacion de vacios	1495,5 g
pinometro	417,5 g

estrato 2	
peso	3099,7 g
peso del agua	2273,7 g
pinometro con agua no lleno	753,4 g
pinometro con muestra y agua media	1251,4 g
pinometro con muestra y agua completo	1448 g
pinometro de eliminacion de vacios	1441,9 g
peso pinometro	418 g

estrato 3	
peso	2331 g
peso del agua	1280 g
pinometro con agua no lleno	679,4 g
pinometro con muestra y agua media	1176,4 g
pinometro con muestra y agua completo	1496,6 g
pinometro de eliminacion de vacios	1487,3 g
peso pinometro	418,4 g

calculos densidad estrato 4	
S	1194,7
B	545,2
C	1078
densidad	1,805 g/cm <sup>3</sup>

calculos densidad estrato 2	
S	2273,7
B	670,8
C	1023,9
densidad	1,184 g/cm <sup>3</sup>

calculos densidad estrato 3	
S	1280
B	522
C	1068,9
densidad	1,746 g/cm <sup>3</sup>

Reporte de resultados  
Estrato 2 : 1.184 g/cm<sup>3</sup>  
Estrato 3 : 1.746 g/cm<sup>3</sup>  
Estrato 4 : 1.805 g/cm<sup>3</sup>

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de Investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

### Anexo 11: Ensayo de contenido de humedad.



Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 25/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de Ingeniería civil

estrato 3	
peso humedo +charola	5884 g
peso canasto	777 g
peso charola +SSS	3608 g
peso del recipiente de agua	1756 g
peso recipiente con agua	30980,36 g
peso canasto + suelo	3838 g
peso dentro del agua	2461,6 g
peso despues de suemrgirse	3846,3 g

calculo estrato 3	
B	3061 g
C	1684,6 g
densidad	2,22 g/cm3

estrato 4	
peso humedo +charola	1677 g
peso canasto	777 g
peso charola +SSS	1597 g
peso del recipiente de agua	1756 g
peso recipiente con agua	30980,36 g
peso canasto + suelo	2019,6 g
peso dentro del agua	1425,8 g
peso despues de suemrgirse	2082,1 g

calculo estrato 4	
B	1242,6 g
C	648,8 g
densidad	2,09 g/cm3

Reporte de resultados  
Estrato 3 : 2,22 g/cm3  
Estrato 4 : 2,09 g/cm3

Alexander Santiago Yunga silve  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería civil

**Anexo 12: Ensayo de densidad de gruesos.**





Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 18/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por: Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de Ingeniería civil

1 LL			Lp		
golpes	% humedad		golpes	% humedad	
36	32,04		28,57		
23	32,52		29,67		
15	34,39		30,43		

2 LL			Lp		
golpes	% humedad		golpes	% humedad	
25	32,96		28,57		
20	35,19		29,34		
16	36,46		31,71		

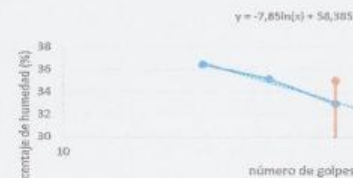
3 LL			Lp		
golpes	% humedad		golpes	% humedad	
35	32,82		28,09		
22	31,43		29,29		
19	36,70		33,88		

limite liquido muestra 1



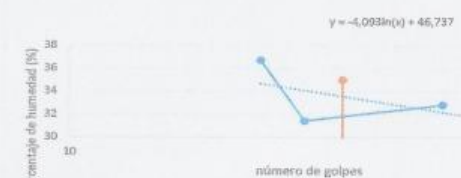
muestra 1	
LL	32,78 %
LP	29,56 %

limite liquido muestra 2



muestra 2	
LL	33,12 %
LP	29,87 %

limite liquido muestra 3



muestra 3	
LL	33,56 %
LP	30,42 %

Reporte de resultados: En la parte superior

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería civil

Anexo 13: Ensayo de Casagrande.



Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 24/10/2022  
Fecha de Informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de ingeniería civil

dimensiones del molde	
diametro	15,24
altura	11,4
area	910,54
volumen	2079,53

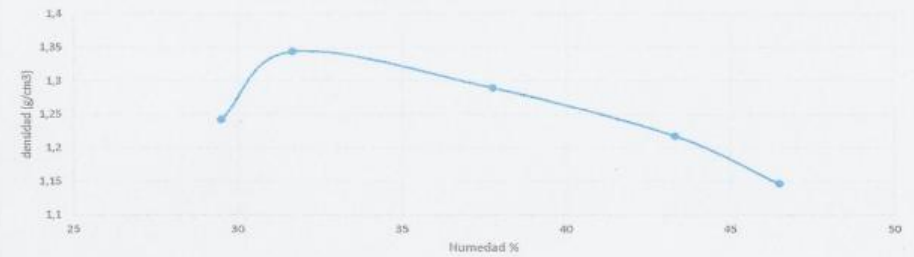
porcentaje de agua	especimen 1	especimen 2	especimen 3	especimen 4	especimen 5
altura del molde	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
diametro del molde	15,24	15,24	15,24	15,24	15,24
volumen del molde	2079,53	2079,53	2079,53	2079,53	2079,53
peso del molde	6639	6639	6639	6639	6639
peso molde + muestra	9984	10319	10334	10267	10132
peso de la muestra	3345	3680	3695	3628	3493
peso volumetrico humedo	1,61	1,77	1,78	1,74	1,68

ensayo de compactacion					
peso suelo humedo compac	9984	10319	10334	10267	10132
peso del molde	0	0	0	0	0
peso del suelo humedo com	9984	10319	10334	10267	10132
peso volumetrico humedo	4,80	4,96	4,97	4,94	4,87

tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
peso del suelo humedo +tar	67	68,9	59,1	63,4	60,2	75,8	95,9	90,3	87,2	111,4
peso del suelo seco +tara	55	56,4	48,4	51,1	47,7	58,6	71,3	67,7	64,1	80,1
peso de la tara	14,3	14,9	14,6	14,1	14,6	14,4	14,5	14,6	14,4	14,9
peso del agua	12	12,5	10,7	12,3	12,5	17,2	24,6	22,6	23,1	31,3
peso del suelo seco	40,7	41,5	33,8	37	33,1	44,2	56,8	53,1	49,7	65,2
contenido del agua	29,48	30,12	31,66	33,24	37,76	38,91	43,31	42,56	46,48	48,01
peso volumetrico seco	3,71	3,69	3,77	3,72	3,61	3,58	3,45	3,46	3,33	3,29

densidad maxima	1,34 g/cm <sup>3</sup>
humedad optima	31,66 %

Curva densidad-humedad E2



cont agua	peso vo
29,4840295	1,24226788
31,6568047	1,34412556
37,7643505	1,28977195
43,3098592	1,21738106
46,4788732	1,14672407



Reporte de resultados  
Densidad máxima: 1,34 g/cm<sup>3</sup>  
Humedad óptima: 31,66 %

Alexander Santiago Yunga Silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de Investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de ingeniería civil

Anexo 14: Ensayo de Proctor modificado tramo 2.


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
 Facultad de Ingeniería - Carrera de Ingeniería civil  
 Informe de laboratorio
 

---

PROCTOR MODIFICADO
Página: 1:1

---

Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
 Fecha de ensayo: 25/10/2022  
 Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
 Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
 Procedencia: Laboratorio de Ingeniería civil

---

dimensiones del molde

diámetro 15,24

altura 11,4

area 910,64

volumen 2079,53

porcentaje de agua	especimen 1	especimen 2	especimen 3	especimen 4	especimen 5	tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
altura del molde	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	peso del suelo humedo +tara	54,8	77,4	54,5	50,7	89,1	101,9	117,9	97
diámetro del molde	15,24	15,24	15,24	15,24	15,24	peso del suelo seco +tara	51,2	71,6	49,3	46,2	75,5	87,6	87,2	81
volumen del molde	2079,53	2079,53	2079,53	2079,53	2079,53	peso de la tara	14,8	14,6	14,2	14,4	14,4	14,6	14,7	14,5
peso del molde	6639	6639	6639	6639	6639	peso del agua	3,6	5,8	5,2	4,5	12,6	14,3	30,7	16
peso molde + muestra	9984	10319	10334	10267	10132	peso del suelo seco	36,4	57	35,1	31,8	62,1	73	72,5	66,5
peso de la muestra	3345	3680	3695	3628	3493	contenido del agua	9,89	10,18	14,81	14,15	20,29	19,59	42,34	24,06
peso volumetrico humedo	1,61	1,77	1,78	1,74	1,68	peso volumetrico seco	4,79	4,72	4,79	4,81	4,44	4,47	5,61	4,15

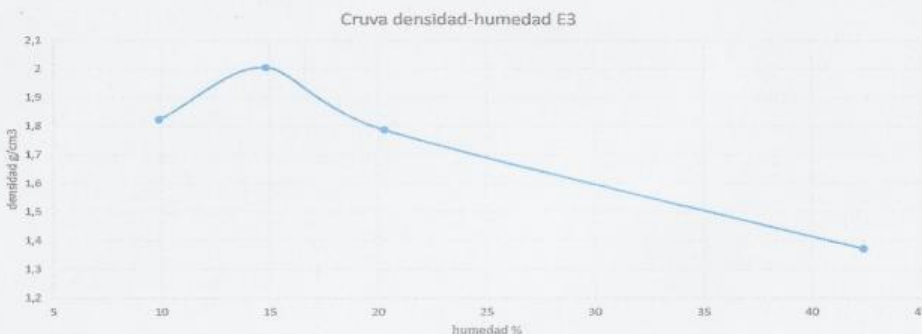
ensayo de compactacion				
peso suelo humedo compac	10806	11426	11109	10699
peso del molde	0	0	0	0
peso del suelo humedo com	10806	11426	11109	10699
peso volumetrico humedo	5,20	5,49	5,34	5,14

cont agua	peso vo
9,89010989	1,82347673
14,8148148	2,00493746
20,2898551	1,78695598
42,3448276	1,37157537

densidad maxima	2 g/cm3
humedad optima	14,81 %

**Curva densidad-humedad E3**




humedad %	densidad g/cm3
10	1.82
14.81	2.00
20	1.79
42.34	1.37


---

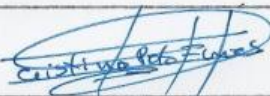
Reporte de resultados

Densidad máxima: 2 g/cm3

Humedad óptima: 14.81 %

  
 Alexander Santiago Yunga silva  
 Estudiante

  
 Ing. Carlos Saldaña  
 Tutor del trabajo de investigación

  
 Ing. Cristina Polo  
 Técnica de los laboratorios de ingeniería civil

**Anexo 15: Ensayo de Proctor modificado tramo 3.**



Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 26/10/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de Ingeniería Civil

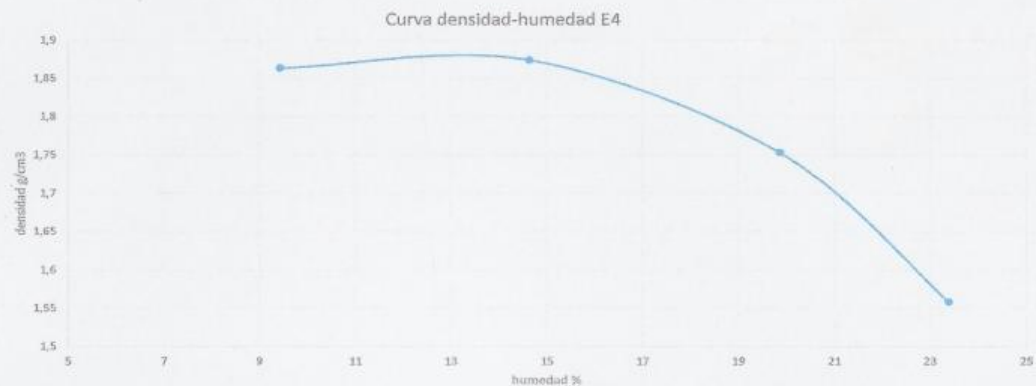
dimensiones del molde		porcentaje de agua	especimen 1	especimen 2	especimen 3	especimen 4	especimen 5
diametro	15,24	altura del molde	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
altura	11,4	diametro del molde	15,24	15,24	15,24	15,24	15,24
area	910,64	volumen del molde	2079,53	2079,53	2079,53	2079,53	2079,53
volumen	2079,53	peso del molde	6639	6639	6639	6639	6639
		peso molde + muestra	9984	10319	10334	10267	10132
		peso de la muestra	3345	3680	3695	3628	3493
		peso volumetrico humedo	1,61	1,77	1,78	1,74	1,68

tara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
peso del suelo humedo +tar	40,9	45,7	51,2	45,6	67,9	54,9	90,5	103
peso del suelo seco +tara	38,6	42,7	47	41,5	59,1	48,7	76,1	85,8
peso de la tara	14,2	14,2	18,3	14,5	14,8	14,3	14,5	14,5
peso del agua	2,3	3	4,2	4,1	8,8	6,2	14,4	17,2
peso del suelo seco	24,4	28,5	28,7	27	44,3	34,4	61,6	71,3
contenido del agua	9,43	10,53	14,63	15,19	19,86	18,02	23,38	24,12
peso volumetrico seco	4,78	4,73	4,66	4,64	4,42	4,49	4,15	4,12

ensayo de compactacion				
peso suelo humedo compac	10880	11106	11008	10638
peso del molde	0	0	0	0
peso del suelo humedo com	10880	11106	11008	10638
peso volumetrico humedo	5,23	5,34	5,29	5,12

cont agua	peso vo
9,42622951	1,86372646
14,6341463	1,87386062
19,8645598	1,75277667
23,3766234	1,55866885

densidad maxima	1,87	g/cm <sup>3</sup>
humedad optima	14,63	%



Reporte de resultados  
Densidad máxima: 2 g/cm<sup>3</sup>  
Humedad óptima: 14.81 %

Alexander Santiago Yunga Silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

**Anexo 16: Ensayo de Proctor modificado tramo 4.**





Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 01/11/2022  
Fecha de Informe: 22/02/2023

Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de Ingeniería Civil



PENETRAC.	0.1"	0.2"	CORREC. IN	
56 GOLF	0,75	0,88	0,016	
25 GOLF	1,25	1,27	0,005	
12 GOLF	2,10	1,82	0,038	
CORREC.	DENS	0.1"	0.2"	MAX
56 GOLF	1,21	1,11	1,48	1,48
25 GOLF	1,20	1,26	1,68	1,68
12 GOLF	1,18	1,84	2,45	2,45



PENETRAC.	0.1"	0.2"	CORREC. IN	
56 GOLF	1,35	1,45	0,021	
25 GOLF	3,75	1,62	0,000	
12 GOLF	1,05	1,62	1,045	
CORREC.	DENS	0.1"	0.2"	MAX
56 GOLF	1,26	1,13	1,51	1,51
25 GOLF	1,23	4,17	5,56	5,56
12 GOLF	1,19	0,11	0,14	0,14



PENETRAC.	0.1"	0.2"	CORREC. IN	
56 GOLF	2,56	2,43	0,075	
25 GOLF	7,66	1,16	0,071	
12 GOLF	-0,39	1,34	0,327	
CORREC.	DENS	0.1"	0.2"	MAX
56 GOLF	1,27	2,75	3,67	3,67
25 GOLF	1,26	4,76	6,35	6,35
12 GOLF	1,25	1,31	0,99	1,31

Alexander Santiago Yunga Silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

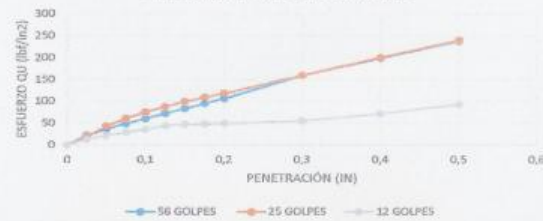
**Anexo 17: Ensayo de CBR del tramo 2.**



Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 18/11/2022  
Fecha de informe: 22/02/2023

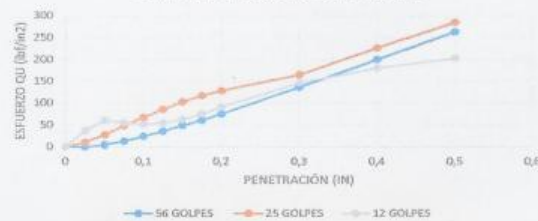
Ensayado por : Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de Ingeniería Civil

CBR ESTRATO 3 SUELO NATURAL



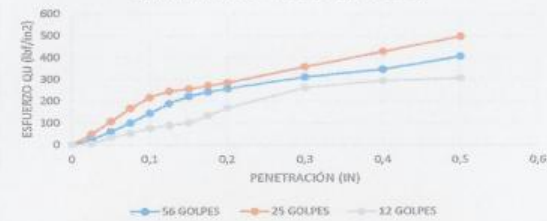
PENETRAC.	0.1"	0.2"	CORREC. IN	
56 GOLF	6,08	7,05	0,007	
25 GOLF	7,49	7,89	0,077	
12 GOLF	3,58	3,29	0,026	
CORREC.	DENS	0.1"	0.2"	MAX
56 GOLF		1,92	4,69	6,25
25 GOLF		1,87	5,53	7,97
12 GOLF		1,77	3,04	4,06

CBR ESTRATO 3 SUELO CON 2% CAL



PENETRAC.	0.1"	0.2"	CORREC. IN	
56 GOLF	2,40	5,06	0,031	
25 GOLF	6,80	8,54	0,000	
12 GOLF	5,22	6,09	0,520	
CORREC.	DENS	0.1"	0.2"	MAX
56 GOLF		1,91	6,59	6,86
25 GOLF		1,86	2,77	3,69
12 GOLF		1,84	0,94	1,25

CBR ESTRATO 3 SUELO CON 4% CAL



PENETRAC.	0.1"	0.2"	CORREC. IN	
56 GOLF	14,59	17,15	0,006	
25 GOLF	21,72	19,04	0,098	
12 GOLF	7,62	11,28	0,018	
CORREC.	DENS	0.1"	0.2"	MAX
56 GOLF		1,89	15,07	18,96
25 GOLF		1,86	11,07	14,76
12 GOLF		1,78	10,30	11,88

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de Ingeniería Civil

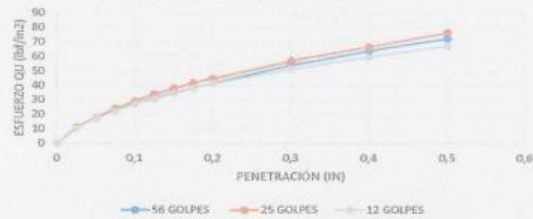
Anexo 18: Ensayo de CBR del tramo 3.



Proyecto: Mejora de la capacidad portante de la subrasante aplicando cal en vías de segundo orden del cantón Alausí.  
Fecha de ensayo: 11/11/2022  
Fecha de Informe: 22/02/2023

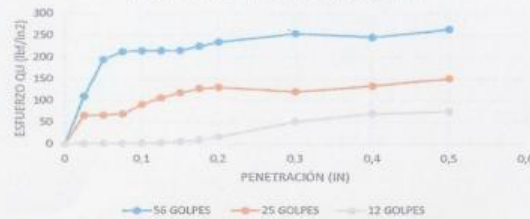
Ensayado por: Alexander Yunga  
Revisado por: Ing. Carlos Saldaña  
Procedencia: Laboratorio de ingeniería civil

CBR ESTRATO 4 SUELO NATURAL



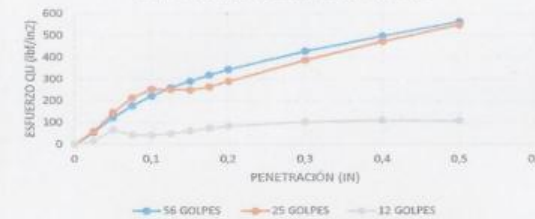
PENETRAC.	0.1"	0.2"	CORREC. IN	
56 GOLP	2,73	2,78	0,026	
25 GOLP	2,92	3,00	0,006	
12 GOLP	2,73	2,76	0,018	
CORREC.	DENS	0.1"	0.2"	MAX
56 GOLP	1,99	3,91	5,22	5,22
25 GOLP	1,96	4,04	5,38	5,38
12 GOLP	1,88	3,85	5,13	5,13

CBR ESTRATO 4 SUELO CON 2% CAL



PENETRAC.	0.1"	0.2"	CORREC. IN	
56 GOLP	21,42	15,66	0,059	
25 GOLP	9,10	8,70	0,033	
12 GOLP	0,20	1,10	0,114	
CORREC.	DENS	0.1"	0.2"	MAX
56 GOLP	1,96	17,76	23,69	23,69
25 GOLP	1,93	6,47	8,63	8,63
12 GOLP	1,87	5,34	4,65	5,34

CBR ESTRATO 4 SUELO CON 4% CAL



PENETRAC.	0.1"	0.2"	CORREC. IN	
56 GOLP	22,24	22,91	0,005	
25 GOLP	25,20	19,36	0,076	
12 GOLP	4,14	5,65	0,023	
CORREC.	DENS	0.1"	0.2"	MAX
56 GOLP	1,95	28,60	38,14	38,14
25 GOLP	1,91	14,13	18,85	18,85
12 GOLP	1,79	6,89	9,19	9,19

Alexander Santiago Yunga silva  
Estudiante

Ing. Carlos Saldaña  
Tutor del trabajo de investigación

Ing. Cristina Polo  
Técnica de los laboratorios de ingeniería civil

Anexo 19: Ensayo de CBR del tramo 4.





**Anexo 20:** Equipo Geo Gauge.



**Anexo 21:** Toma de muestra en la vía.





**Anexo 22:** Corte estrato 1.



**Anexo 23:** Toma de datos del suelo.



**Anexo 24:** Corte de estrato 2.



**Anexo 25:** Toma de datos de la vía.





**Anexo 26:** Toma de datos de la vía.



**Anexo 27:** Formación de calicatas.



**Anexo 28:** Toma de muestras del suelo de la calicata.



**Anexo 29:** Toma de muestras del suelo de la calicata.





**Anexo 30:** Toma de muestras del suelo del estrato 3.



**Anexo 31:** Toma de muestras del suelo del estrato 4.



**Anexo 32:** Secado del suelo.



**Anexo 33:** Secado del suelo del estrato 3.

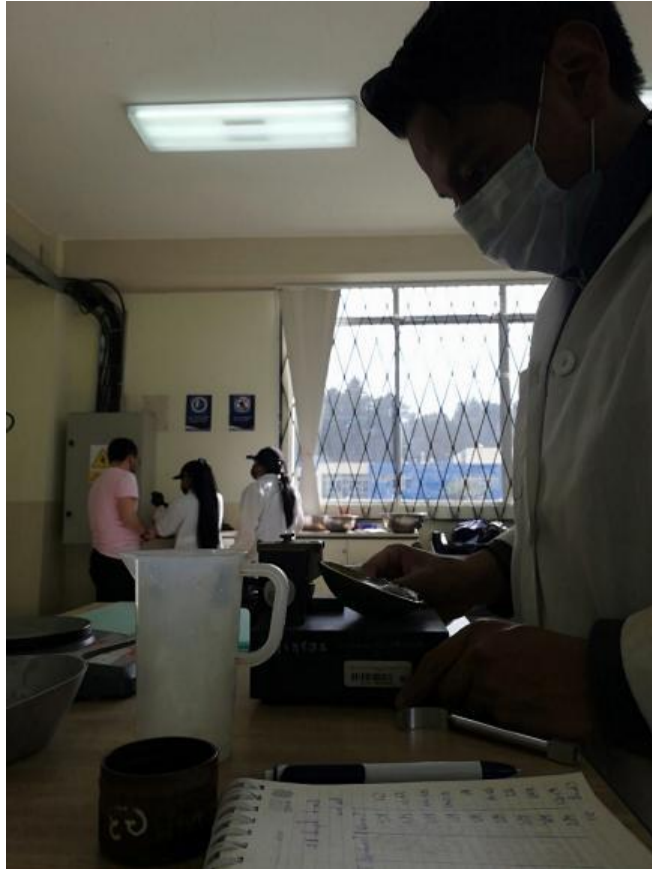


**Anexo 34:** Peso del suelo.



**Anexo 35:** Ensayo de granulometría.





**Anexo 36:** Ensayo de Casagrande.



**Anexo 37:** Ensayo de Casagrande.





**Anexo 38:** Preparación de suelo para ensayo de densidad.



**Anexo 39:** Secado del suelo.



**Anexo 40:** Comprobación de suelo parcialmente saturado.



**Anexo 41:** Ensayo de densidad de finos.



**Anexo 42:** Ensayo de Proctor modificado.



**Anexo 43:** Enrasado del suelo.



**Anexo 44:** Ensayo de Proctor modificado.



**Anexo 45:** Ensayo de densidad de gruesos.





**Anexo 46:** Ensayo Proctor CBR



**Anexo 47:** Colocación de capas en la probeta.



**Anexo 48:** Preparación de moldes con deformímetro.



**Anexo 49:** Se sumerge los moldes en el agua.





**Anexo 50:** Colocación de moldes en el agua.



**Anexo 51:** Toma de datos de deformación.



**Anexo 52:** Ensayo de CBR de un molde.



**Anexo 53:** Compactación del suelo con cal



**Anexo 54:** Comprobación del estado del suelo ensayado tramo 3.



**Anexo 55:** Comprobación del estado del suelo ensayado tramo 2.





**Anexo 56:** Comprobación del estado del suelo ensayado con cal.



**Anexo 57:** Comprobación del estado del suelo ensayado con cal.



**Anexo 58:** Ensayo Proctor CBR para el tramo 3.