



Universidad Científica del Perú - UCP
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“MEJORAMIENTO DE AFIRMADO CON ADICIÓN DE
CAL ESTRUCTURAL EN EL CAMINO VECINAL SM 804
ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE
SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

M.SC. ING. VÍCTOR EDUARDO SAMAMÉ ZATTA

AUTORES:

AREVALO SORIA, ROY DANNY

TANANTA UTIA, JHERSON HABRAHAM

TARAPOTO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico a mis padres Dolibeth Soria Piña y Luis Alberto Quiñones Castro quienes por ser los pilares más importantes en mi vida y por demostrarme siempre con su amor, paciencia, dedicación y esfuerzo que me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

Y finalmente dedicarles a mis maestros, quienes durante la vida universitaria no solo fueron una fuente de conocimientos sino también de experiencias, y a nuestra institución que nos permitió culminar con éxito esta carrera.

Roy Danny, Arévalo Soria

Quiero dedicar de una manera específica este proyecto a mis padres y mamá abuela, por la entera disposición que han puesto desde que empecé mi vida universitaria y en el presente trabajo de grado, siendo un pilar muy importante en mi vida y el carácter propio que tengo. A mis tíos que si no fuese por el espíritu alentador y apoyador no habrían llegado hasta donde estoy ahora.

Jherson Habraham, Tananta Utia

AGRADECIMIENTO

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual yo particularmente me siento muy agradecida, mis padres me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies. Ellos son mis pilares de la vida, les dedico este trabajo de titulación. Gracias mamita Dolibeth y papito Luis.

A mis hermanos menores Rodrigo y Paula. Por creer en mí aun cuando muchos dijeron que sería muy tarde para continuar, su tozudez fue el responsable de que gire mi vida otorgándome las herramientas necesarias para empezar.

Roy Danny, Arévalo Soria

Siempre dije que soy afortunado por nacer en una familia cristiana, que me inculcaron con valores cristianos, por ello agradezco a Dios día a día por permitir mi existencia y la de mis seres queridos.

Agradezco de manera eterna a mis padres, tíos, primos por el soporte que han sido en los momentos más difíciles que tuve que afrontar.

Quiero también agradecer de una manera especial a mis docentes de la universidad, ellos tienen un valor agregado en toda mi formación académica, pues son un claro ejemplo de como la vida te enseña a ser mejor.

Por ultimo a mis amigos que fui adquiriendo durante el proceso de estudio, por las risas y seriedad que compartimos por muchos años.

Jherson Habraham, Tananta Utia

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

**FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA**

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 929-2021-UCP-FCEI del 17 de diciembre del 2021, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|--|------------|
| • Ing. Caleb Rios Vargas, M.Sc. | Presidente |
| • Ing. Luis Armando Cuzco Trigozo, M.Sc. | Miembro |
| • Ing. Isaac Duhamel Castillo Chalco | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Víctor Eduardo Samamé Zatta, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 19:00 horas del día 13 de junio del 2022, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: “MEJORAMIENTO DE AFIRMADO CON ADICIÓN DE CAL ESTRUCTURAL EN EL CAMINO VECINAL SM 804 ALTO PONAZA – MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA, SAN MARTÍN”.

Presentado por los sustentantes:

**ROY DANNY AREVALO SORIA y JHERSON HABRAHAM
TANANTA UTIA**

Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL.**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS.**

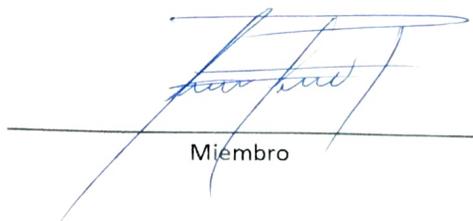
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORÍA CON LA NOTA DE (15) QUINCE.**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



Miembro

APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el día 13 de junio del 2022 a las 07:00 p.m.



M.Sc. Ing. CALEB RÍOS VARGAS
PRESIDENTE DEL JURADO



M.Sc. Ing. LUIS ARMANDO CUZCO TRIGOZO
MIEMBRO DEL JURADO



Ing. ISAAC DUHAMEL CASTILLO CHALCO
MIEMBRO DEL JURADO



M.Sc. Ing. VÍCTOR EDUARDO SAMAMÉ ZATTA
ASESOR

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

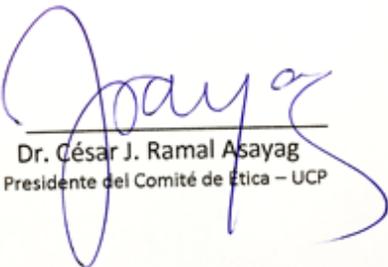
La Tesis titulada:

**“MEJORAMIENTO DE AFIRMADO CON ADICIÓN DE CAL ESTRUCTURAL EN EL
CAMINO VECINAL SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE
SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN”**

De los alumnos: **AREVALO SORIA ROY DANNY Y TANANTA UTIA JHERSON
HABRAHAM**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente
la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **15% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que
estime conveniente.

San Juan, 22 de Febrero del 2022.



Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética – UCP

Document Information

Analyzed document	UCP_INGENIERÍA_2021_TESIS_ROYAREVALO_JHERSONTANANTA_V1.pdf (D127950797)
Submitted	2022-02-15T16:27:00.0000000
Submitted by	Comisión Antiplagio
Submitter email	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Similarity	15%
Analysis address	revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Científica del Perú / UCP_2021_INGCIVIL_TSP_HERNANRIOS_ARNOLDSOLANO_V1.pdf		6
	Document UCP_2021_INGCIVIL_TSP_HERNANRIOS_ARNOLDSOLANO_V1.pdf (D110619292) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com		
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_ROYALVA_LIDERPEZO_V1.pdf		7
	Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_ROYALVA_LIDERPEZO_V1.pdf (D120353663) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com		
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LLINCLEYPEREZ_KEVINRUBIO_V1.pdf		30
	Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_LLINCLEYPEREZ_KEVINRUBIO_V1.pdf (D123753937) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.orkund.com		
W	URL: https://www.elabora.es/index.php/divulgacion/item/download/5_51058156e3721b2dd24073ba37a8f2fd Fetched: 2019-11-07T14:22:36.4930000		1

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
APROBACIÓN	4
RESUMEN	8
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	15
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	15
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES.....	22
2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES.....	28
2.2 BASES TEÓRICAS.....	29
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	57
CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	60
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	60
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	61
3.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	61
3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS	61
3.3 OBJETIVOS.....	61
3.3.1 OBJETIVO GENERAL	62
3.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	62
3.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	62
3.5 LIMITACIONES	62
3.6 HIPÓTESIS.....	63
3.6.1 Hipótesis General.....	63
3.6.2 Hipótesis General	63
3.7 VARIABLES.....	63
3.7.1 Identificación de las variables.....	63
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	64
4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	64
4.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	64
4.1.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	64
4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	65

4.2.1 POBLACIÓN	65
4.2.2 MUESTRA.....	65
4.3 LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE EXTRACCIÓN	65
4.4 VERIFICACIÓN IN-SITU DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN DE LA PRESENTE TESIS	67
4.5 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	70
4.5.1 TÉCNICAS	70
4.5.2 INSTRUMENTO	70
4.5.3 PROCEDIMIENTO	70
4.5.4 CARACTERISTICAS DEL ESTABILIZANTE	70
4.6 PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	71
CAPÍTULO V: RESULTADOS	72
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	80
6.1. DISCUSIÓN N°01	80
6.2. DISCUSIÓN N°02	80
6.3. DISCUSIÓN N°03	81
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
7.1 CONCLUSIONES.....	82
7.2 RECOMENDACIONES.....	83
CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXO	86

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Estabilización de subrasante	36
Ilustración 2: Moléculas de la cal.....	46
Ilustración 3: Cal	46
Ilustración 4: Estabilización de suelos con Cal	48
Ilustración 5: Compactación de suelos	49
Ilustración 6: Reacción puzolánica entre la cal y un suelo. Adaptado de “Materiales para base y subbase”	50
Ilustración 7: Esquema del diseño de la investigación	65
Ilustración 8: Localización de la zona de investigación	66
Ilustración 9: Cal de obra.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis Granulométrico del material.....	72
--	----

RESUMEN

La capa de afirmado colocado en el tramo de estudio de la presente tesis es el apoyo incondicional de la estructura de la vía, con la cual va a resistir los diferentes puntos de cargas verticales y deformaciones, es preferible clasificar los tipos de suelos a existir y en la cual se deberá tratar en forma química y mejorar sus característica física y mecánicas para el cual deberá cumplir los requisitos mínimos para la construcción de la vía.

En la presente investigación se evaluará la utilidad de la adición de cal para mejorar las características de suelos plásticos con la finalidad de poder ser utilizado en subrasantes de buena capacidad portante en una vía alto tránsito (camino vecinal SM 804 Alto Ponaza, Miraflores, Distrito de Shamboyacu - Picota - San Martín).

Para mejorar las propiedades del suelo se ha optado por adicionar cal (también llamada cal estructural) oxido de calcio (Cao) en dosificaciones de 2.5%, 4.5% y 7.5%, a fin de encontrar la dosificación óptima que mejore las propiedades químicas y tales como sus características mecánicas y físicas del suelo.

Siendo este tipo de estabilizador muy común y a la vez muy útil por ser un material económico y abundante en el territorio peruano, motivo por el cual en esta investigación se realizará una breve descripción del material existente mediante el ensayo granulométrico por tamizado ASTM D 1241- 305 para determinar el tipo de suelo a tratar seguido por ensayo Proctor modificado 2000 según ASTM D-1557 y finalmente ensayo CBR ASTM D-1883 para determinar su capacidad portante del material afirmado.

La estabilización de suelos permite mejorar sus propiedades especialmente sus niveles de esfuerzo – deformación, no es de extrañar que las técnicas más comunes que se observan en la provincia y en la práctica profesional para estabilizar un suelo sea solamente material y agua para compactación. Sin embargo, con el desarrollo y auge de tecnologías renovables o desarrollo sostenible se está tratando de investigar y desarrollar nuevos métodos no

convencionales de estabilización viable desde el punto de vista técnico, de resistencia, de economía, y ambiental.

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal, determinar las ventajas técnicas de la estabilización de las subrasantes arcillosas con cal, para ser utilizado como base o subbase para el camino vecinal SM 804 Alto Ponaza del distrito de Shamboyacu.

Los ensayos realizados a las muestras de suelo en el laboratorio nos permiten valorar los cambios positivos que las proporciones de cal genera sobre las muestras de suelo. Estos ensayos fueron: CBR, granulometría, Proctor modificado y límites de consistencia; para más adelante comparar los resultados obtenidos de los ensayos, y con ello realizar una dosificación correcta de cal obteniendo así un suelo óptimo.

Al no cumplir las especificaciones establecidas en las normas, primero se decidió utilizar el método de Eades & Grim (ASTM D 6276) con la finalidad de obtener el porcentaje de cal necesario para estabilizar el suelo, el cual consiste en medir el valor de pH de las muestras de suelo – cal, determinando el porcentaje de cal con el objetivo de determinar la efectividad de la estabilización.

Finalmente, al comparar el suelo – cal con el suelo en estado natural, se redujo su plasticidad y el porcentaje de expansión. Por lo que el porcentaje de cal es satisfactorio para lograr la estabilización del suelo analizado, cumpliendo así, con las especificaciones establecidas en el manual de especificaciones técnicas del MTC.

Palabras claves: subrasante, estructura, cargas verticales, portante, cal.

ABSTRACT

The affirmed layer placed in the section of study of this thesis is the unconditional support of the structure of the road, with which it will resist the different points of vertical loads and deformations, it is preferable to classify the types of soils to exist and in which it must be treated chemically and improve its physical and mechanical characteristics for which it must meet the minimum requirements for the construction of the road.

In this research, the usefulness of the addition of lime to improve the characteristics of plastic soils will be evaluated in order to be able to be used in subgrade of good bearing capacity in a high traffic road (local road SM 804 Alto Ponaza, Miraflores, District of Shamboyacu - Picota - San Martín).

To improve the properties of the soil, it has been decided to add lime (also called structural lime) calcium oxide (Cao) in dosages of 2.5%, 4.5% and 7.5%, in order to find the optimal dosage that improves the chemical properties and such as its mechanical and physical characteristics of the soil.

This type of stabilizer being very common and at the same time very useful because it is an inexpensive and abundant material in the Peruvian territory, which is why in this investigation a brief description of the existing material will be made by means of the sieving granulometric test ASTM D 1241-305 to determine the type of soil to be treated followed by the modified Proctor 2000 test according to ASTM D-1557 and finally the CBR test ASTM D-1883 to determine its bearing capacity for the affirmed material.

Soil stabilization allows improving its properties, especially its stress levels - deformation, it is not surprising that the most common techniques observed in the province and in professional practice to stabilize a soil are only material and water for compaction. However, with the development and rise of renewable technologies or sustainable development, an attempt is being made to investigate and develop new unconventional stabilization methods that are viable from a technical, resistance, economic, and environmental point of view.

The main objective of this thesis work is to determine the technical advantages of stabilizing clay subgrades with lime, to be used as a base or sub-base for the SM 804 Alto Ponaza neighborhood road in the Shamboyacu district.

The tests carried out on the soil samples in the laboratory allow us to assess the positive changes that the proportions of lime generate on the soil samples. These tests were: CBR, granulometry, modified Proctor and consistency limits; to later compare the results obtained from the tests, and thus carry out a correct dosage of lime thus obtaining an optimal soil.

Not meeting the specifications established in the standards, it was first decided to use the Eades & Grim method (ASTM D 6276) in order to obtain the percentage of lime necessary to stabilize the soil, which consists of measuring the pH value of soil samples - lime, determining the percentage of lime in order to determine the effectiveness of stabilization.

Finally, when comparing the soil - lime with the soil in its natural state, its plasticity and the percentage of expansion were reduced. Therefore, the percentage of lime is satisfactory to achieve the stabilization of the analyzed soil, thus complying with the specifications established in the MTC technical specifications manual.

Keywords: subgrade, structure, vertical loads, bearing, lime.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la construcción de caminos nos podemos encontrar con aquellos suelos arcilloso o plásticos comúnmente, para este caso la vía se encuentra con material afirmado el cual se encuentra en mal estado a consecuencia de las lluvias y la tipología de la vía hace que las aguas perjudican la calzada, de tal manera uno piensa cual es la forma de resolver el problema y lo mejor que nos ocurre es despejar todo el material existente con esto se genera más costo y lo mejor sería el tratamiento de los mismos mediante una buena estabilización.

El gran problema de estos caminos vecinales de nuestra región surge por el deterioro de la misma por no existir mantenimiento inoportuno y las vías son el único medio existente y rápido para intercambiar mercaderías, el movimiento de personas, hace que sea una necesidad tener vías en perfecto estado.

Por otro lado, siendo estos suelos comúnmente de material afirmado, al tener una baja capacidad portante. La única alternativa existente al mejoramiento de los suelos cambiando las características físicas y también mecánicas del material; lo podemos hacer estabilizándolo con aditivos. A mayor tonelaje de los vehículos que transitan en consecuencia llegan a deteriorar las capas colocadas.

A la fecha de la presente tesis el camino vecinal se encuentra en la Fase III de mantenimiento rutinario, la colocación del material afirmado como base de rodadura se ejecutaron en la Fase II de mantenimiento periódico, por lo tanto, a consecuencia de las lluvias en la zona existen puntos críticos que mejorar, pero lo recomendable es preparar todo el tramo para así estabilizar el material y tener mayor vida útil de la vía y así mejorar la transitabilidad de la población.

Al elaborar la presente propuesta y habiendo identificado los distintos problemas de la vía actual, incluidos los de tipo ambiental, para la defensa y preservación del medio ambiente, presente las soluciones adecuadas, exponiéndolas de una forma clara y lineal, para que se tenga una tarea fácil a

cumplir y, al mismo tiempo pueda realizar su función con facilidad de transitabilidad de la vía.

La característica esencial de esta investigación es obtener resultados de laboratorio óptimos y favorables. Para posteriormente plantear un método de solución rápida, económica y amigable con el medio ambiente. Esta alternativa de solución consiste en mejorar con CAL las características físicas y mecánicas de la subrasante en estudio. Por ello, es prioridad la construcción de vías en buen estado que facilite el transporte en la región y para lograrlo se debe asegurar la estabilidad y resistencia de la subrasante, la investigación pretende demostrar la influencia de la cal con el material afirmado de elevada plasticidad, mejorando las propiedades de la resistencia mecánica (CBR), la plasticidad y la expansión en los suelos.

Así, si la subrasante no es la adecuada y no asegura la estabilidad y la durabilidad que garantice el buen comportamiento de la estructura de la carretera tiene dos opciones, la primera siendo esta la más tradicional, es el de sustituir el suelo actual realizando grandes movimientos de tierra y la segunda opción es la de mejorar las características físicas de la subrasante haciendo uso de cal estructural con el fin de economizar y ser amigable con el medio ambiente.

El resultado de estos caminos vecinales actualmente las vías rehabilitadas no están funcionando o cumpliendo el tiempo de vida útil proyectada; ello se manifiesta en el deterioro prematuro, no logrando a la fecha cumplir los objetivos de las distintas entidades públicas; por ello se ve la necesidad de mejorar con estabilización de suelos, con procesos constructivos adecuados. Existen tesis relacionadas a la estabilización de suelos y supresión de polvo, los cuales se tomarán como base para el presente estudio.

Con el diseño y técnica de construcción apropiado, el tratamiento con cal transforma químicamente los suelos plásticos en materiales utilizables como estructura de pavimento, mejorando características y propiedades del suelo entre estas la resistencia a la compresión y capacidad portante.

La finalidad de esta investigación es mejorar las características físico – mecánicas, de los suelos de la subrasante mediante el uso de cal estructural, brindando una base estabilizada el cual formará parte de la estructura de la vía.

En el Manual de Carretera (MTC, 2013), existe un capítulo sobre estabilizadores; sin embargo, no detalla para que tipo de zona, por lo que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través del Provías Descentralizado, ha realizado pruebas con los estabilizadores contemplados en nuestra Norma.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Una desventaja que tienen los pueblos aledaños a las ciudades cercanas, son el escaso medio de comunicación vial terrestre en los diferentes lugares de nuestro país, especialmente en la zona de selva y ceja de selva, que continuamente se ven involucrados en el mal estado de nuestras carreteras, esta problemática no solamente se da en este sector sino también en la zona de sierra y costa. La población de estos sectores se las ingenia para habilitar kilómetros de carreteras con el fin de tener un camino o vía de transporte que garantice la mejora de sus economías.

Por lo general, los proyectos de caminos vecinales de conectividad a los pueblos, donde permitan platear desarrollo para su mejoramiento, ya que en la zona de selva los suelos son conocidos por ser arcillosos con alta plasticidad y capacidad de soporte bajo, la cual es uno de los grandes problemas para la construcción de estos caminos vecinales, se ven obligado a ejecutar estudios para realizar estos trabajos con materiales provenientes de las únicas canteras calificadas que existen dentro del tramo a estudiar.

A continuación, se muestra la metodología y los resultados que se obtuvieron al realizar las investigaciones.

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- **(HUEZO MALDONADO & ORELLANA MARTÍNEZ, 2009) “LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS Y LIMOSOS CON CAL EN LA CONSTRUCCIÓN TIENE MÁS DE 5,000 AÑOS DE ANTIGÜEDAD.** Las Pirámides de Shersi en el Tíbet fueron construidas con mezclas compactadas de arcilla y cal, en la China y la India a lo largo de la historia, se ha utilizado de varias maneras la estabilización con cal sin embargo, fue en los EE.UU, que a finales de los años 40 cuando se aplicaron a las mezclas de cal y suelo para ser utilizadas para la estabilización química de

los suelos, para lo cual se utilizaron técnicas y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos para determinar el porcentaje de cal óptimo para incrementar la resistencia del suelo, el tratamiento de arcillas con cal comenzó en los años 50 aumentando su popularidad con gran rapidez. Se han construido miles de kilómetros de carreteras, así como aeropuertos principales como el de Dallas Fort Worth en EE. UU. sobre arcillas estabilizadas.”

- **VÁSQUEZ JARA, JAIME DAVID, SUSTENTO EL AÑO 2008 SU TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS CON CAL**, en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile, Chile; con el fin de optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El objetivo principal de esta investigación fue dar a conocer la Cal como estabilizante de suelos en obras viales, para ello se analizó la incidencia de este producto estabilizador en un suelo de plasticidad alta. Para dar inicio al trabajo se realizó una investigación minuciosa acerca de la estabilización de suelos con Cal. Asimismo se presentaron las propiedades de los suelos cohesivos, la cal y la metodología de su aplicación, como estabilizante de suelos. Así como se señalaron los materiales y métodos utilizados para la evaluación de este producto mediante ensayos de laboratorio, estudiando los efectos sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Además, se analizó técnica y económicamente la solución respecto a otra de índole tradicional usada en el país. Para realizar este análisis, se desarrolló un supuesto de diseño en el cual se realizaron los cálculos de las características de la base estructural para un pavimento flexible tomando en cuenta los datos que se lograron obtener en laboratorio. Como conclusión general se pudo comprobar la validez del producto químico como alternativa para el tratamiento de suelos, dado que éste tiene la capacidad de producir mejoras en las características fundamentales del suelo, incrementando capacidad de soporte al mismo, no obstante, por factores económicos, el producto no se puede presentar como solución óptima al problema.

- **HORACIO ULLOA LÓPEZ. EN SU TESIS “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE CAL EN LAS VÍAS DE LA COMUNIDAD DE SAN ISIDRO DEL PEGÓN, MUNICIPIO POTOSÍ- RIVAS”** para optar el título de ingeniería civil en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua, en cuya investigación, describe el planteamiento del problema Actualmente los costos de construcción de vías son bastante elevados y de igual manera el mantenimiento de las existentes, debido al rápido deterioro que sufren a causa de diferentes factores, principalmente climatológicos. El empedrado fraguado y balastrado de calles es comúnmente utilizado en vías de baja intensidad o caminos rurales, sin obtener resultados satisfactorios, debido a que cada año el invierno causa deterioros progresivos tanto en la superficie como en la estructura de este (Métodos de Estabilización de Suelos, 2010).

La comunidad de San Isidro se caracteriza por ser una zona bastante regular, con baja incidencia a los desastres naturales, sin embargo, se ha visto afectada por las intensas lluvias en fenómenos climáticos intensos. Entre estos el huracán Juana 1988 y el huracán Mitch 1998, periodo durante el cual esta comunidad estuvo prácticamente incomunicada (INETER, 2005).

Este fenómeno se debe en su totalidad al comportamiento plástico del suelo, el cual es característico en gran parte de las comunidades del departamento de Rivas, (la presencia de suelos de tipo vertisoles en común, ya que más del 80% del departamento se compone de estos suelos). Estos al ser expuestos a la humedad producto de las lluvias, aumentan su volumen disminuyendo su resistencia cortante, fenómeno comúnmente conocido como hinchamiento (Herrera & Ortiz, 2013).

- **ERICK GIOVANNY GAVILANES BAYAS. EN SU TESIS “ESTABILIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DE SUB-RASANTE MEDIANTE CAL Y CEMENTO PARA UNA OBRA VIAL EN EL SECTOR DE SANTOS PAMBA BARRIO COLINAS DEL SUR”** para optar el título de ingeniería civil en la Universidad Internacional del Ecuador, en cuya investigación, describe el planteamiento del problema Las vías terrestres son un factor importante

dentro de la infraestructura física de una ciudad, estas influyen directamente en el crecimiento del producto interno bruto, agilizan el mercado, comunican con otras ciudades mejoran la calidad de los servicios públicos y la calidad de vida de sus beneficiados.

En la ciudad de Quito la red vial no está en buenas condiciones como esperamos por eso ha tenido numerosas obras de bacheo y rehabilitación que no han arrojado resultados positivos a los que esperábamos ya que en corto plazo hemos encontrado fallas, especialmente agrietamientos y deformaciones, y esto ocurre por la mala conformación del suelo o subrasante.

El funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción depende de la calidad de los suelos y de la subrasante. Los suelos inestables pueden crear muchos problemas en las estructuras de pavimentos, adoquinados u hormigonados, por tal motivo se puede tratar de realizar mejoramiento de estos suelos empleando diversas técnicas de rehabilitación, utilizando diversos materiales, como cales, cementos, aditivos, emulsiones, etc.

En Quito la gran parte del suelo es homogéneo, pero en algunas de ellas es relleno y también muy fangoso así que no tenemos una subrasante de buena calidad para emplearla. Las carreteras en la ciudad no son la excepción, se han hecho varios trabajos de conservación, y no han sido de gran ayuda para estas, por esto se analizará la forma en que puede ser reducidas las propiedades plásticas de la subrasante, mediante la estabilización con cal o cemento.

- **ALTAMIRANO Y DÍAZ (2015)** en la tesis “**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE CAL EN LAS VÍAS DE LA COMUNIDAD DE SAN ISIDRO DEL PEGÓN, MUNICIPIO POTOSÍ- RIVAS**” Para optar el título de ingeniero civil Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua unan, Managua- Nicaragua. Objetivo: Estabilizar los suelos cohesivos de las vías en la comunidad San Isidro del Pegón, municipio de Potosí departamento

Rivas, con una mezcla de cal hidratada. Conclusión: Obtuvo la mejora de forma representativa en ciertas formas tales como plasticidad también se puede adicionar la densidad de comparación se incrementa, también el caso de la humedad. Todo esto se logró con la reacción exotérmica que es un mecanismo que de reacción de la cal al tratarse con suelos arcillosos con ello el CBR se mejoró siendo este suelo de tipo A 7-6 que nos indica. Se uso cantidades de cal en 3,6,9,12 % respectivamente llegando a ser el 9 % el óptimo a mejorar el suelo tratado y así se pudo cumplir sus expectativas del caso.

- **GAVILANES (2015)** en la tesis **“ESTABILIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DE SUB-RASANTE MEDIANTE CAL Y CEMENTO PARA UNA OBRA VIAL EN EL SECTOR DE SANTOS PAMBA BARRIO COLINAS DEL SUR”** Para optar el título de ingeniero civil universidad internacional del ecuador escuela de ingeniería civil Quito Ecuador. Objetivo: Analizar y evaluar las propiedades físicas y mecánicas de la modificación y estabilización de suelo en el sector de Santos Pamba en el barrio Colinas del Sur empleando adiciones de cal y cemento en diferentes porcentajes para determinar estabilización de plasticidad del material de subrasante en la vía. Conclusión: en la calle Santo Bamba se hizo en estudio dando como resultado un suelo tipo limo y arenoso que tiene como material de subrasante del suelo, con pómez y de color café claro en este caso se hizo estabilizar con cemento logrando ver resultados favorables al ver que su incremento de soporte del mismo modo los valores son en aumento a su estado natural llegando a concluir que si se da el caso de mejora, cumpliendo a su vez con la normativa de estabilización de suelos hacia la subrasante. Así como lo especifica el MOP con su normativa que es usado para la mejoría de la subrasante.
- **BAUZÁ (2015)** en la tesis **“EL TRATAMIENTO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS CON CAL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO ANTE CAMBIOS DE HUMEDAD”** para obtener el grado de doctor en la Universidad de Sevilla –España. Objetivo:

La presente tesis plantea un doble objetivo de investigación. De una parte, se realiza un exhaustivo estudio del estado del conocimiento de los tratamientos de suelos con cal, recogiendo las numerosas y muy diversas aportaciones obtenidas por los investigadores en los últimos años. Por otra, se plantea el estudio concreto del comportamiento de deformaciones de un suelo arcilloso altamente plástico ante modificaciones en su grado de humedad y succión, uno de los campos de la materia menos documentados. Este último objetivo, se ha aplicado sobre un suelo expansivo empleado en la construcción de la explanación de una importante obra de infraestructura en el entorno geológico de la provincia de Sevilla, concretamente de la localidad de Morón de la Frontera. Conclusión: Se da en este caso como una contundente mejora en el incremento de resistencia del mismo, también podemos apreciar la reducción de plasticidad, por otro lado, su mejora de los suelos al ser más trabajable y versátil a la forma de manipularlo en el movimiento de tierras, estos a su vez se denota la rigidez del suelo en forma de compresión que es lo que se busca al ser compactada. El CBR (capacidad de soporte de california) da como resultado la resistencia, también la a compresión y sobre todo a la resistencia al corte del suelo, también da las mejoras del caso, también nos brinda la trabajabilidad del suelo a tratar. La cal da forma y resiste ante la erosión de dichos suelos dispersos dañado a su vez da estabilidad al mismo.

- **GUZMÁN (2016)** en la tesis titulada **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN SUELO ARCILLOSO ESTABILIZADO POR DOS MÉTODOS QUÍMICOS (CAL Y CLORURO DE SODIO)”** para optar el título de ingeniero civil, universidad técnica de Ambato facultad de ingeniería civil y mecánica carrera ingeniería civil, Ambato – Ecuador. Objetivo: Analizar el comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado con componentes químicos (cal y cloruro de sodio) en el laboratorio. Conclusión: Se concluyó que dicha cal se da el resultado la mejora en porciones de 7,5 y también en un 12,5 anteriormente se obtuvo los ensayos los valores del suelo de 20 y 26 % respectivamente cumpliendo con sus especificación siendo este porcentaje el óptimo a tratar, posteriormente se pudo determinar que al

12,5 % es lo ideal ya que este monto se acerca a los valores mínimos del mismo ya determinado el porcentaje es suelo es mejorado con el cloruro de sodio, en cambio la cal da mejor resultado ya que el único que llega a cumplir todos los parámetros establecido y es considerado ser el mejor estabilizador ante el cloruro de sodio. Terminado con lo especificado se termina en pronunciar que se demostró que la cal es el complemento ideal en este caso a comparación del cloruro de sodio.

- **(VÁSQUEZ, 2008)**, En el estudio titulado: **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS CON CAL, TUVO COMO OBJETIVO DAR A CONOCER LA CAL COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS EN OBRAS VIALES, ANALIZANDO LA INFLUENCIA DE ESTE PRODUCTO EN UN SUELO DE ALTA PLASTICIDAD**. El trabajo comienza con una investigación minuciosa de la estabilización de suelos con Cal. Así también se señalan los materiales y métodos utilizados para evaluar este producto por intermedio de ensayos de laboratorio, estudiando los efectos sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Este análisis, se realizó de acuerdo a un supuesto de diseño, en donde, se calcularon las características de la base estructural para un pavimento flexible de acuerdo a los datos obtenidos en laboratorio. Como conclusión general se puede validar el producto como una alternativa concreta para la estabilización de suelos, ya que, debido a la capacidad de mejorar las características básicas del suelo, aportando capacidad de soporte al mismo.
- **(ANGULO, 2004)**, En el estudio titulado, **ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON CAL**, esta tesis tuvo como objetivo mostrar las mejoras del comportamiento de un suelo de mala calidad, al incorporarle varios porcentajes de cal, en función de su peso seco, teniendo en cuenta que el suelo funcionará como subrasante dentro de la estructura del pavimento. Esta tesis se realizó en tres etapas, la primera fue la recolección de información, la segunda la fase de laboratorio, llevándose a cabo ensayos de Proctor (densidad – humedad), CBR (valor soporte), limite líquido, limite plástico, granulometría y absorción por capilaridad; y por último el análisis de

los resultados. Se llegó a la conclusión que los porcentajes de cal disminuyeron la plasticidad, aumentaron su valor soporte y crearon una capa protectora contra el agua que sube por capilaridad, es decir, pasa de ser un suelo baja a uno de buena calidad como subrasante.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

- **ANGULO TRELLES, ROMMEL, SUSTENTO EL AÑO 2004 SU TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON CAL;** en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Piura, Piura, Perú; con el fin de optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El objetivo de su investigación se enfocó en la demostración de las mejoras de comportamiento de un suelo de tipo arcilloso categorizado inicialmente de mala calidad, adicionando diversos porcentajes de cal en función de su peso seco, considerando que el suelo funcionó dentro de la estructura del pavimento como capa subrasante. Esta Tesis se desarrolló en tres fases, en primer lugar, se recopiló la información, la segunda el de fase de laboratorio, en el que se desarrolló las Pruebas de Proctor (densidad – humedad), CBR (valor soporte), límite líquido, límite plástico, granulometría y absorción por capacidad; y finalmente se analizaron los resultados. Los diversos porcentajes de cal redujeron la plasticidad, elevaron el valor soporte y generaron una capa de protección frente al agua que asciende por capilaridad, dicho de otra manera, pasa de ser un suelo de baja calidad a uno bueno como subrasante

- **GARCÍA (2015) en la TESIS “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE INCORPORANDO CAL ESTRUCTURAL EN EL SUELO LIMO ARCILLOSO DEL SECTOR 14 MOLLEPAMPA DE CAJAMARCA, 2015”** para optar el título de ingeniero civil, presentada en la Universidad Privada Del Norte Cajamarca. Objetivo: Determinar la resistencia de la subrasante al incorporar cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector Mollepampa de Cajamarca. Conclusión: llega a ser verdad por el usar propiedades de cal en ciertos % 2,4,6,8 eleva su propiedad y capacidad el

suelo de la subrasante siendo este de tipo limo, también podemos determinar que su incremento de soportar resistencia siendo este de modo limo al agregar cal mejora su CBR, llegando ser una mejoría, cuando el suelo era natural tenía CBR 5.2 se aumentó con cal un 5, 10 al %2 cuando se hecho un % 4 en esta prueba de CBR era de 6.3 ahora al hace el estudio incrementa en %10 y así consecutivamente a más adición de cal se mejora, también se pudo comprobar que su IP va decayendo al adicionar cal en ciertos % con respecto a un suelo natural en cantidades de 11.26 este recae en un %3 y así consecutivamente solo en ciertas cantidades, en cierto modo la cal llega a mejorar la subrasante y decae su IP llegando así a la determinación que el suelo limo es arreglado. En este caso se pudo determinar que al agregar el 8% es el ideal & optimo en cuanto a su resistencia aumenta considerablemente y también en su DSM lo incrementa y otro lado su IP lo disminuye llegando así a su mejora del suelo en cambio obteniendo así un buen CBR de la subrasante a trabajar. Ya terminado con lo especificado podemos terminar que la cal en ciertos porcentajes lo mejora.

- **CUADROS (2016)** en la tesis “**MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN UNA VÍA AFIRMADA DE LA RED VIAL DEPARTAMENTAL DE LA REGIÓN JUNÍN MEDIANTE LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA CON ÓXIDO DE CALCIO – 2016**” para optar el título profesional de ingeniero civil universidad peruana los andes, Huancayo. Objetivo: Determinar la influencia de la estabilización química mediante la adición de diversos porcentajes de óxido de calcio en el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la Red Vial Departamental de la Región Junín. Conclusión: Se estabilizo de una forma principal solo con oxido de calcio llegando satisfactoriamente a sus propiedades adecuadas físicas y mecánicas del suelo, se determinó que a dichos % la mejora de del suelo se logra con cal al adicionar en diferentes partes uno tres cinco y siete respectivamente, mediante la adición el IP disminuye siendo en estado natural en un 19.08 mejorándolo al 4.17 respectivamente. Siendo el 3% el

óptimo tratar al suelo mejorando considerablemente sus propiedades y resistencia.

- **CHÁVEZ ARBAYZA, DIEGO MARCO ANTONIO BRYAN Y ODAR YABAR, GABRIELA.** en su trabajo de Investigación Titulado: **“PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN CON CAL PARA SUBRASANTES CON PRESENCIA DE SUELOS ARCILLOSOS EN BOFEDALES Y SU INFLUENCIA EN EL PAVIMENTO RÍGIDO BAJO LA METODOLOGÍA DE DISEÑO AASHTO 93 APLICADO AL TRAMO 1 DE LA CARRETERA OYÓN-AMBO”**, de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima – Perú 2019, en cuya investigación, describe el planteamiento del problema.

Hoy en día, uno de los grandes problemas en el diseño y construcción de pavimentos en el Perú recae en la calidad y la capacidad portante de los suelos de fundación, con repercusiones en la ejecución y costos elevados en el mantenimiento. El ensayo más relevante para determinar las solicitaciones máximas de carga que puede resistir el suelo es el CBR. Alguno de los factores que afectan la capacidad portante de los suelos están relacionadas con el porcentaje de humedad y el porcentaje de contenido orgánico; en el tramo I de la carretera Oyón – Ambo se han identificado 23 zonas de bofedales. Estas son consideradas zonas críticas por dos factores. El primero, dentro de las características del suelo se presentan arcillas de baja plasticidad comprendidas dentro de ojos de agua y el segundo, alto contenido de material orgánico debido a la particularidad de este tipo de ecosistemas; estos dos factores inciden en la baja capacidad portante de la subrasante (CBR < 6%).

La norma de pavimentos del MTC en su versión 2014, menciona que cuando se tiene la presencia de suelos de mala calidad o inapropiados con CBR < 6%, se requiere el reemplazo, mejoramiento o estabilización de estos mediante procesos mecánicos o químicos. Evitando asentamientos y la contaminación de las diferentes capas y del paquete estructural que conforman la vía. Dentro de este grupo de suelos encontramos: Limos,

Mezclas de Limo/Arena/Grava, Limos de alta plasticidad, arcillas plásticas, arcillas moderadamente plásticas y arcillas muy plásticas.

- **VELARDE (2016)** en la tesis “**APLICACIÓN DE CAL EN SUBRASANTE PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO, EN JIRÓN LA UNIÓN, JUAN GUERRA-SAN MARTÍN, 2016**”, para optar el título de ingeniero civil presentada en la Universidad César Vallejo-Tarapoto. Objetivo: Determinar el efecto de la aplicación de cal en la subrasante natural para el diseño de pavimento rígido en el jirón La Unión de Juan Guerra-San Martín, 2016. Conclusión: La aplicación del producto sobre la subrasante estando en natural en este caso para diseñar un pavimento rígido, arroja resultados positivos con el incremento de los valores del CBR, posibilitando a la disminución del grosor de un pavimento rígido en cuanto a su diseño se ha obtenido valores de C.B.R. al 95% de compactación de suelo en su forma natural, de 5.88% adicionando cal en valor de 45.61% al 100% de compactación, la aplicación de diferentes formas en cuanto a cal para la subrasante en su estado natural, con el 5%, con un C.B.R de 45.61% al 100% de compactación.
- **(RUANO LOPEZ, 2012), TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA**, quien se han planteado como objetivo principal: Realizar de manera precisa y mecánica el estudio de investigación de estabilización de suelos cohesivos con arenas volcánicas y cal viva, con muestras y ensayos en el laboratorio de suelos y la obtención y comprobación de resultados. Conclusiones: a). La cal viva tiene un bajo costo en el mercado comparada con la cal hidratada y se pudo comprobar que su uso es muy eficaz en la estabilización de suelos cohesivos, ya que se pueden lograr una estabilización de bajo costo mezclándola con la arena sílice y arena azul, b). Las mezclas propuestas van del 10 por ciento, 25 por ciento y 50 por ciento de arena sobre el material a estabilizar logrando obtener desde un valor de CBR de 52,6 por ciento a 91,5 por ciento, lo que da un amplio margen de valores que podemos seleccionar según sea la utilidad que necesitemos aplicar.

Recomendaciones:

a). El uso de la cal viva en las estabilizaciones con arenas volcánicas crea un resultado eficiente, pero se debe de utilizar una de buena calidad para lograr los resultados esperados, en la investigación se propone una fábrica la cual utiliza un banco de muy buena calidad, pero si se desea utilizar otra por cuestión de cercanía se debe de verificar la calidad de esta.

b). Cuando se inicie a realizar la estabilización de un área, se debe de tomar muestras del suelo cohesivo a estabilizar para conocer las características y propiedades de este para relacionar con las muestras de suelos que en esta investigación se trabajaron y corroborar que similitudes presentan para utilizar como base los valores de porcentaje de CBR que acá se obtuvieron para tomarlos como referencia.

- **CABANA (2017)** en su TESIS “**MEJORAMIENTO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE (CBR) AL ADICIONAR EL ESTABILIZANTE QUÍMICO CAL A LA SUB – RASANTE DE LA CARRETERA NO PAVIMENTADA DE BAJO TRÁNSITO PARIA – WILCAHUAIN, HUARAZ, 2017**”, para optar el título de ingeniero civil presentada en la Universidad César Vallejo- Huaraz. Objetivo: Mejorar la Relación de Soporte California (CBR) al adicionar el estabilizante químico cal a la Subrasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria Wilcahuain, Huaraz, 2017. Conclusión: Al incorporar la cal al suelo SC y CL teniendo así un CBR del suelo natural de la C-01 una resistencia de 3.50% y con una expansión de 1.01 %, y al incorporarle el 8 % de cal, cantidad optima obtenida del ensayo de Eades y grim este aumento su CBR al 12% y redujo su hinchamiento a un 0.11 % para el suelo CL que al inicio tuvo un CBR del 8% con una expansión de 1.62% y al incorporarle el 4 % de cal, cantidad optima obtenido del mismo ensayo anterior, aumento hasta un 28% y redujo su expansión al 0.13%, cumpliendo así con los requisitos de resistencia para ser usada como capa de subrasante.

- **(MTC, PROYECTO, 2011), “REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHONGOYAPE COCHABAMBA – CAJAMARCA TRAMO LLAMA – COCHABAMBA”**, en este proyecto se ha hecho el uso de la estabilización suelo-cal, por motivos que se ha verificado un pronto agotamiento de suelo aluvial que viene siendo utilizado en capa de subrasante para corregir la plasticidad de materiales excedentes de corte. Frente a esta problemática mediante Resolución Ministerial 878-2011.-MTC/02 se aprueba el adicional de obra en la que consiste como alternativa de solución el empleo de la tecnología suelo-cal, con la finalidad de mejorar la plasticidad de los materiales que conforman la subrasante. El porcentaje de cal utilizado estuvieron dentro del rango de 4% a 5%.
- **LEITE, R., CARDOSO, R., CARDOSO, C., CAVALCANTE, E., & DE FREITAS, O. (2016)**. Realizaron un **ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS** con el objetivo de reducir su potencial de hinchamientos. Para esta finalidad se utilizó cal como estabilizante en cantidades de 3%, 6% y 9%. Para el análisis se realizaron ensayos de laboratorio como el CBR y Proctor modificado con el suelo natural y luego de la adición del estabilizante químico. Los resultados confirmaron la eficacia de la estabilización de la cal. Se observó que, a medida que aumentaba el contenido de cal, había una reducción de la fracción de arcilla y un incremento de la fracción de material granular, aumentando así la resistencia al corte del suelo. La curva de compactación fue desplazada y la presión de hinchamiento libre se redujo significativamente.
- **EKEOCHA, N. E., & EGESI, N. (2014)**. Realizaron la evaluación de suelos arcillosos mediante el ensayo del California Bearing Ratio (CBR). Las muestras de suelo recogidas fueron llevadas al laboratorio para la prueba de (CBR) sumergida por 24 horas, compactación Proctor estándar al 100% de MDS, contenido de humedad próximo al OCH, debidamente clasificado según AASHTO 1993. Los resultados del estudio han establecido que las muestras son de mala calidad y, como tal, es necesaria la estabilización de suelos que se considera para su uso como subrasante mejorada. En vista de

ello los autores, recomendaron opciones de mejora como la son sobre excavación y estabilización. Se podría excavar hasta 0.7m y hacer la sustitución con material de mejor calidad, podría ser adición química, mezcla suelo cal o suelo con asfalto.

- **CUADROS, C.**, la **“ESTABILIZACIÓN QUÍMICA CON ÓXIDO DE CALCIO (CAL VIVA) INFLUYE POSITIVAMENTE EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE”**, determinó que el porcentaje óptimo de cal viva para la estabilización del suelo en estudio es de 3% respecto al peso, obteniendo como resultado la reducción del IP (índice de plasticidad) del suelo natural de 19.08% a un IP de 4.17%, luego de la estabilización. Verificó la reducción del óptimo contenido de humedad en la compactación, de un 18.3% del suelo natural a un 15.6% posterior a la estabilización con cal viva, además indica que aumenta el valor de CBR (California Bearing Ratio o valor de soporte de California, que mide la resistencia al corte del suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada), de un 4.85% del suelo natural a un valor de CBR de 15.64% posterior a la estabilización. Realizó la comparación de los costos de la estabilización física por combinación de suelos y la estabilización química con óxido de calcio, dando como resultado una reducción del 44.41% de costos

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

- **RAMOS PÉREZ, MERCY JUDIT Y ROBLEDO MERINO, STHEFANY**, con el tema **“ESTABILIZACIÓN DE LA SUB RASANTE DE LA AV. AHUASHIYACU POR MEDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE CAL, EN EL DISTRITO DE LA BANDA DE SHILCAYO, PROVINCIA Y REGIÓN SAN MARTÍN – 2020”** concluye en los siguiente:

En conclusión, la influencia de la cal como aditivo en el mejoramiento de los suelos de la av. Ahuashiyacu, causa incremento en la capacidad de soporte california (CBR) y resistencia al corte de estos suelos arenosos limos arcillosos. De los cuatro tratamientos del suelo con cal, el que ofrece

mejores ventajas lo constituye la estabilización con el 8 % de cal con un 22.00% de CBR de diseño.

El índice de plasticidad también disminuye y aumenta su valor de acuerdo a la adición de cal, logrando el máximo índice plástico con adición de 4% de cal, con un valor de 9.76. La muestra con cal al 0% presenta un índice plástico de 6.93, esto nos representa un aumento de un 2.83% del índice plástico.

Por tal motivo, se puede decir que la cal hidratada mejora considerablemente las propiedades mecánicas de estos suelos, gracias a que el suelo tratado, tiene minerales arcillosos en los cuales están incluidos la alúmina y la sílice, que al combinarse las partículas se aglomeran perfectamente, aumentando la resistencia de la subrasante, elevando su densidad máxima seca; obteniendo así un suelo mejorado y óptimo para soportar cargas de agentes externos.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 MEJORAMIENTO DE SUB RASANTES

Las subrasantes de poca resistencia son un problema común en la construcción de pavimentos. La existencia de una falla en la subrasante sobre la que esta cimentada el pavimento llevara a un deterioro rápido de la estructura de este.

Tradicionalmente, las subrasantes de poca resistencia u oscilantes deben retiradas y remplazada por rellenos de sustitución o estabilizadas químicamente. Ambas opciones son caras y consumen mucho tiempo.

La subrasante es la capa superficial, de terreno natural. Para construcción de caminos se analizará hasta 0.45 m de espesor. Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del pavimento. Se identificarán cinco categorías de subrasante:

S0: Subrasante muy pobre CBR < 3%

S1: Subrasante pobre CBR = 3% - 5%

S2: Subrasante regular CBR = 6 - 10%

S3: Subrasante buena CBR = 11 - 19%

S4: Subrasante muy buena CBR > 20%

Se considerarán como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor se procederá a eliminar esa capa de material inadecuado y se colocará un material granular con CBR mayor a 6%; para su estabilización.

2.2.2 SUELOS

El suelo se define como una mezcla de varios minerales meteorizados y de materia orgánica en descomposición, se encuentra en una capa delgada que cubre la tierra y contiene grandes cantidades de agua y aire que sirven de sustento y soportes a las plantas y demás organismos. Desde la perspectiva de la ingeniería civil, el suelo se define como un material no consolidado compuesto por partículas líquidas, sólidas y vacíos que ocupan espacio entre ellas.

2.2.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Concepto por el cual se aplican una serie de métodos físicos y químicos para permitir el mejoramiento de una muestra de suelo y así lograr el uso adecuado de este. En el contexto de vías, la estabilización incluye aquellos métodos que permitan mejorar suelos para proporcionar o generar capas que sirvan a una estructura de pavimento, como pueden ser bases, capas de rodadura, sub bases y subrasantes, llevándolas a condiciones óptimas de humedad y densidad que provean mejores propiedades en cuanto a durabilidad, economía y resistencia.

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizadores, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en ese caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. En cambio, cuando se estabiliza una subbase granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como sub base o base granular estabilizada.

Con frecuencia los suelos, no son los más adecuados para ser utilizada en una obra determinada y cuyas características obligan a tomar decisiones las cuales mencionaremos a continuación:

- Aceptar el material tal como se encuentra, pero teniendo en cuenta en el diseño las restricciones impuestas por su calidad.
- Eliminar el material insatisfactorio o abstenerse de usarlo, sustituyendo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o, cuando menos, que la calidad obtenida sea adecuada.

Este término incluye todos los métodos físicos, químicos, térmicos, eléctricos o cualquier combinación de estos que permitan un mejoramiento del suelo para que sirva adecuadamente a los fines que piensa utilizarse.

La estabilización de suelos es una técnica de construcción utilizada para mejorar las propiedades de los suelos o materiales disponibles en terreno y tiene por objetivo mejorar las propiedades mecánicas, trabajabilidad, estabilidad de ciertos materiales y resistencia al corte de los suelos tratados. Por otra parte, Se conoce como estabilidad en los suelos, cuando en condiciones de saturación y cambios bruscos de

clima o temperatura, los suelos presentan capacidad para soportar cargas (dinámicas o estáticas), resistencia sin sufrir deformaciones considerables, ni desgaste prematuro por el uso al cual está siendo sometido los suelos.

Sin embargo, cuando se presentan suelos que no reúne las características antes mencionadas y que son necesarias para trabajar directamente con éstos, se puede usar cualquiera de estas tres posibilidades:

- Sustitución de los suelos.
- Combinación de los suelos.
- Modificación de sus propiedades (estabilización)

2.2.4 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL

Los productos estabilizantes más conocidos son la cal, el cemento y el asfalto, cuyos rangos generales de aplicabilidad son muy diversos, es necesario tener muy en cuenta el tipo de suelo para seleccionar el tipo de estabilizante más adecuado, en este caso la calidad de cal a usar para estabilización de suelos arcillosos debe ser estudiado.

Para la estabilización de suelos se usan la cal estructural es la que reacciona con las partículas arcillosas y los modifica o transforma permanentemente en un fuerte matriz cementante. La estabilización con cal es un tratamiento que se aplica a los suelos, a los materiales granulares o capas de subrasante, adicionalmente un ligante estabilizador, para mejorar sus características mecánicas, especialmente la capacidad de soporte, resistencia a los agentes atmosféricos, estabilidad volumétrica, etc. Asimismo, al mezclar el suelo con la cal se mejora la condición plástica del mismo y la reducción de permeabilidad.

En la estabilización del suelo cambia considerablemente las características naturales del mismo, produciendo resistencia y

estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua.

La cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos, en varios grados o cantidades, dependiendo del objetivo. Una mínima cantidad de cal para tratamiento se utiliza para secar y modificar temporalmente los suelos. Tal tratamiento produce una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales. Un mayor grado de tratamiento, respaldado por las pruebas, diseño y las técnicas apropiadas de construcción, producen la estabilización estructural permanente del suelo.

Este es el objetivo sobre el cual se centre nuestro estudio ya que las pruebas y la metodología de diseño de capas de suelo estabilizadas están disponibles en muchos lugares, pero en nuestro país, este método de estabilización de suelos es muy poco usado, ya que esta técnica es relativamente nueva. Se debe tomar en cuenta que el uso de cal para el secado de suelos, la modificación temporal y la estabilización permanente no está limitado a la construcción de carreteras.

La mayor parte de cal para el tratamiento de suelo se usa en la construcción de carreteras. Sin embargo, el empleo de cal para el secado de suelos, la modificación temporal y la estabilización permanente no se limita a la construcción de carreteras.

La estabilización con cal produce en el suelo un aumento de la resistencia al esfuerzo cortante, que aumenta con la proporción de cal utilizada, el tiempo transcurrido, la temperatura de curado y la disgregación que se haya conseguido del suelo. Por otro lado, también aumenta la humedad óptima de compactación, que permite que suelos de elevada humedad natural puedan conseguir una densificación adecuada, la densidad máxima Proctor de un suelo estabilizado con cal es inferior a la del suelo original, lo que no tiene gran importancia debido a las mejoras anteriores obtenidas con la estabilización.

2.2.5 EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE LA CAL

Como consecuencia de la combinación de los mecanismos descritos en el apartado anterior, la aplicación de cal a un suelo arcilloso origina una modificación en las propiedades físicas características de su comportamiento inicial.

Si bien ya se ha mencionado que en función de la mineralogía del suelo y de la proporción y forma de aplicación de cal se producen unos u otros procesos en mayor o menor medida, es posible resumir y englobar los efectos más genéricos de la mejora en los que siguen:

- Reducción de la humedad natural del suelo
- Modificación de la granulometría
- Aumento de la permeabilidad
- Mayor trabajabilidad
- Reducción del índice de plasticidad
- Reducción del potencial de cambios volumétricos
- Modificación de las características de compactación
- Aumento inmediato de la consistencia
- Mayor resistencia a medio y largo plazo

2.2.6 REDUCCIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL DEL SUELO

Es evidente que este efecto sólo se produce cuando la cal se aplica en forma de cal viva en polvo. El proceso, ya descrito en las propiedades de la cal se basa en que, para la hidratación de los óxidos de calcio existentes en la adición y su conversión en hidróxidos cálcicos, se toma el agua precisa de la presente en la masa del suelo. Además, y dado que la reacción que se produce es exotérmica, el propio calor producido en la hidratación facilita la evaporación del exceso de humedad. Es, al fin

y al cabo, la producción del apagado de la cal en el suelo húmedo que se quiere secar.

2.2.7 INFLUENCIA DE LA CAL EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

“La cal generalmente produce una disminución en la densidad de los suelos, modifica la plasticidad y aumenta la capacidad soporte y resistencia la corte del material y reduce su hinchamiento”.

En efecto, el hecho que la adición de cal incrementa la resistencia de un suelo mientras reduce su densidad no debe extrañar. En el caso de un material específico la resistencia generalmente aumenta con la densidad. Sin embargo, cuando un agente químico, tal como la cal, es agregado a un suelo natural se forma un nuevo material, el cual puede tener propiedades físicas y químicas enteramente diferentes que el original, por lo tanto, su propia densidad máxima puede tener mayor resistencia que el suelo no tratado, aunque este se encuentre más densificado.

2.2.8 PROPIEDADES DE LA ETABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL

- Reducción del índice de plasticidad, debido a una reacción del límite líquido y a un incremento del límite plástico.
- Reducción considerable del ligante natural del suelo por aglomeración de partículas.
- Obtención de un material más trabajable y fiable como producto de la reducción del contenido de agua en los suelos.
- La cal ayuda a secar los suelos húmedos lo que acelera su compactación.
- Reducción importante del límite de contracción y el porcentaje de hinchamiento.

- Incremento de la resistencia a la compresión simple de la mezcla posterior al tiempo de curado.
- Incremento de la capacidad de soporte del suelo (CBR).
- Incremento de la resistencia a la tracción del suelo.
- Formación de barreras impermeables que impiden la penetración de aguas de lluvia o el ascenso capilar de aguas subterráneas.

2.2.9 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA SUBRASANTE

La estabilización de suelos para subrasante surge como una necesidad al mejorar las propiedades del suelo. Como plasticidad de este y la capacidad de soporte de este.

La estabilización de la subrasante se puede realizar por diferentes métodos según los ofrecidos por el MTC, en el Manual de carreteras, suelos, geología y pavimentos, con respecto al mejoramiento y estabilización de suelos. A continuación, en la Figura:

Estabilización de subrasante, se muestra un esquema con los tipos de estabilización.

Ilustración 1: Estabilización de subrasante



Adaptado de “Estabilización” por MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014.

El principal fin de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurando que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Con esto se logran tres objetivos importantes:

- Adecuada estabilidad ante las cargas
- Durabilidad de la capa
- Una Variación Volumétrica mínima

2.2.10 FUNCIONES DE LA ESTABILIZACIÓN

El diseño de pavimentos se basa en la premisa de que el paquete es tan competente como cada una de las capas que lo componen. Por lo tanto, cada capa debe soportar el cortante, las deflexiones excesivas que causan el agrietamiento por fatiga y prevenir la excesiva deformación permanente. Entonces, la calidad de la capa subrasante puede ser mejorada de forma tal que con menores espesores se logre una mejor distribución de cargas.

Los dos usos principales de la estabilización son:

Mejoramiento de la calidad del suelo

Una de las principales mejorías que se logran a través de la estabilización es por un lado, cambio de la granulometría del suelo y reducciones en el índice de plasticidad y el potencial de expansividad. Por otro lado, se incrementa su durabilidad y dureza. En climas húmedos la estabilización puede también ser usada para proveer una superficie más apta para llevar a cabo operaciones constructivas. Estos tipos de mejorías pueden ser llamadas:

“modificación del suelo”.

Reducción del espesor

La dureza y rigidez del suelo puede ser mejorada a través de la incorporación de aditivos que permitan la reducción en los espesores de diseño, respecto a los materiales sin tratar. Los espesores de diseño de la base pueden ser reducidos si el material estabilizado para subrasante presenta la gradación, dureza, estabilidad y durabilidad requerida

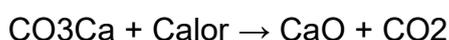
2.2.11 CALES UTILIZADAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Las cales que se pueden utilizar para este tipo de proceso son las cales aéreas. Estas presentan las siguientes características:

Cales vivas

Son cales aéreas que se componen principalmente de óxido de calcio y óxido de magnesio, producidas por la calcinación de la caliza.

Ecuación 1: Cal viva

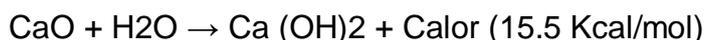


Se comercializan en grano (diferentes granulometrías) o molidas, incluso micronizadas. En contacto con el agua se hidrata siendo la reacción fuertemente exotérmica. Cuando se utilizan calizas que también contienen en su composición carbonato de magnesio, una vez calcinadas se obtienen a la vez óxidos de calcio y de magnesio. Si el porcentaje de óxido de magnesio es mayor al 5%, la cal se denomina “cal dolomítica o dolomía calcinada” (hay que tener en cuenta en la estabilización de suelos, que la hidratación de la cal dolomítica es más lenta que el de la cal viva con porcentaje de óxido de magnesio < 5%).

Cales hidratadas

Son las cales aéreas que se componen principalmente de hidróxido de calcio. Proviene de la hidratación controlada de cales vivas.

Ecuación 2: Cal hidratada



Este tipo de cal presenta menor reacción exotérmica que la cal viva al entrar en contacto con el agua.

Cales en forma de lechada

Es la suspensión de cal hidratada en agua, también puede obtenerse a partir de la cal viva que al mezclarla con agua dará cal hidratada, formándose a continuación con el resto del agua la suspensión de lechada de cal la cual puede ser utilizada bajo forma de lechada en el tratamiento de los suelos cuando se quieren conseguir las siguientes ventajas:

- Supresión del polvo producido en el extendido de la cal.
- Humidificación de los suelos secos.

La lechada de cal puede ser preparada en la fábrica o in-situ, en depósitos o cubos equipados de un sistema de agitación, a partir de la cal viva o de la cal hidratada. Una vez preparada la misma, esta se aplica directamente en el suelo para su respectiva estabilización.

Para la estabilización de suelos la cal más recomendable es la cal viva debido a que la reacción exotérmica que se produce entre el suelo y la cal es más rápida y eficiente.

Esta será el tipo de cal a emplear para la estabilización de la subrasante.

2.2.12 ACCIÓN DE LA CAL COMO ESTABILIZANTE

La cal, agregada a ciertos suelos, produce diversos efectos que son puestos de manifiesto en las aplicaciones prácticas y en los laboratorios. Los principales efectos son los siguientes: La cal hace que el suelo arcilloso se desmenuce más fácilmente y le confiere propiedades que, en cierto modo corresponde a los limos.

- Favorece el secado de los suelos muy húmedos.
- Favorece la compactación de los suelos con humedades muy altas.
- Mejora la estabilidad de los suelos a efectos de las lluvias prolongadas.
- Incrementa la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y esfuerzo de compresión.
- Reduce la influencia perniciosa de la materia orgánica.

2.2.13 PROPIEDADES DE LA MEZCLA SUELO - CAL

En las mezclas suelo-cal se producen una serie de modificaciones en sus propiedades índices, las cuales se mejoran y hacen que el suelo se comporte de diferente manera al suelo natural, estas modificaciones se dan con más frecuencia en las siguientes propiedades:

Resistencia

El empleo de cal aumenta la resistencia de los suelos pues se incrementa su índice C.B.R. además de elevar las resistencias a tracción y a flexión, por lo tanto, la mejora producida en las capas y explanadas estabilizadas permite reducir espesores y posibilidades de fallo durante su vida útil.

Plasticidad

La adición de cal eleva el límite plástico de los suelos y reduce el límite líquido, principalmente en suelos muy plásticos, y puede tener el efecto contrario en los suelos de menor plasticidad.

2.2.14 REQUISITOS DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La modificación del suelo depende de las características del mismo y de sus deficiencias.

En la mayoría de los casos se necesita aumentar la RESISTENCIA. Si el suelo es no cohesivo esto se puede lograr por confinamiento o dándole cohesión por un agente cementador o ligante. Si el suelo es cohesivo se puede aumentar la resistencia haciéndolo resistente a la humedad alterando la película de agua absorbida, aumentando la cohesión con un agente cementador y aumentando la acción interna.

La reducción de la COMPRESIBILIDAD se puede lograr llenando los poros, cementando los granos con un material rígido o cambiando las fuerzas absorbidas por el mineral de arcilla.

La inmunidad a la RETRACCION y a la EXPANSION se puede lograr cementando, modificando la capacidad del mineral arcilloso para la absorción de agua y haciendo el suelo resistente a los cambios de humedad.

La PERMEABILIDAD se puede reducir llenando los poros con un material impermeable o modificando la estructura del mineral de arcilla y el agua absorbida para impedir la floculación. Se puede aumentar la permeabilidad quitando los granos finos o creando una estructura conglomerada.

2.2.15 METODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Desde el punto de vista de su función o efecto en el suelo:

- Retención de humedad: Que retiene la humedad del suelo.
- Resistencia a la humedad: Que impide que la humedad entre en suelo o que afecte los materiales de arcilla.
- Cementación: Que une las partículas entre si sin modificarlas.
- Relleno: Que rellena los poros.
- Estabilización mecánica: Que mejora la graduación del suelo.

- Alteración fisicoquímica: Que cambia el mineral arcilloso o el sistema agua absorbida mineral arcilloso.

2.2.16 TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

a) ESTABILIZACIÓN POR MEDIOS MECANICOS

Consisten en realizar el proceso de estabilización por compactación, se debe emplear este método en todas aquellas obras donde la materia prima es el suelo. También es frecuente las mezclas de suelos para mejorar las propiedades físicas del suelo.

Con este tipo de estabilización se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

b) ESTABILIZACIÓN POR COMBINACIÓN DE SUELO

La estabilización por combinación de suelo, considera la mezcla de dos o más materiales con la finalidad de obtener un material adecuado, cabe indicar que la combinación de suelos debe tener mayor incidencia los materiales de préstamo.

La estabilización por combinación de suelos consiste en remover el suelo existente en 15 cm para mezclarlo con otro suelo de préstamo de mejor calidad, para ello se tiene que retirar las partículas menores a 75 mm y se pasará por un proceso de aireación y humedecimiento de tal forma que se cumplan los requerimientos de compactación.

c) ESTABILIZACIÓN POR MEDIOS QUÍMICOS

Este tipo de estabilización es generalmente lograda por la adición de agentes estabilizantes específicos tales, como el cemento, la cal el asfalto u otros agentes químicos.

Teniendo en cuenta la gran variedad de los suelos y la composición de estos, es de esperarse que cada método resulte solo aplicable a un número limitado de suelos.

d) ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA

Este tipo de estabilización consiste en la expansión y contracción de muchos suelos, originadas por lo cambios de humedad, se pueden presentar en forma rápida o acompañado de variaciones estacionales o con la actividad. Por tanto, si las expansiones que se desarrollan debido a un incremento de humedad no se controlan de alguna forma, estas presiones pueden ocasionar graves deformaciones y rupturas en el pavimento.

2.2.17 FUNDAMENTOS DE ESTABILIZACIÓN SUELOS

El óptimo desarrollo en un funcionamiento de cualquier tipo de obra civil a un tiempo de largo plazo depende en las propiedades intrínsecas del suelo en desarrollo. Los suelos con algún tipo de inconsistencia aumentan una probabilidad de un riego significativo en la estructura tanto vertical como horizontal. El adecuado diseño, tratamiento y técnicas pertinentes en la construcción, mejorara desde su estructura química y física el suelo, para ser un material utilizable y aprovechable. Adicionalmente, la base estructural soportada de los suelos puede ser aprovechada en los pavimientos.

2.2.18 PROPIEDADES DE LOS SUELOS ESTABILIZADOS

Los suelos que se desean estabilizar deben tener ciertas propiedades físicas previamente establecidas para lograr un buen resultado a la hora de obtener una mejora en sus propiedades, estas son:

- **Resistencia:** Es una propiedad que se hace necesaria aumentar para lograr mayor cohesión entre las partículas del suelo, con la adición de cementantes o la compactación de tipo mecánica, vibratoria, por carga o estabilización química (cal), para evitar asentamientos. En el caso de suelos cohesivos (arcillas), se aumenta la resistencia evitando la entrada de humedad en las partículas con la adición de cementantes que, modifiquen la película de agua entre granos o partículas.
- **Compresibilidad:** Se debe tener especial cuidado con esta propiedad pues si no es controlada genera otros daños en el suelo que hacen que no sea apto para el uso; esto quiere decir que las fuerzas entre partículas son débiles lo que provoca desplazamientos o expansiones, esta propiedad se mejora cementando los granos con material rígido para rellenar poros.
- **Permeabilidad:** La permeabilidad se define como la propiedad que tienen los suelos de permitir el paso de un fluido a través de ellos, sin alterar las propiedades existentes. Teniendo en cuenta esto, es importante que el agua circundante tenga un buen medio filtrante para evitar problemas de bombeo y en general dañar el comportamiento del suelo, para esto, se puede adicionar un material impermeable o crear estructuras conglomeradas.
- **Retracción y expansión:** Estas dos propiedades se deben tener en cuenta ya que se producen por los cambios de humedad en el suelo, por lo que es importante adicionar un mineral arcilloso que pueda mantener la humedad, así como también cementantes que restrinjan la humedad.
- **Durabilidad:** Propiedad de los suelos que se refiere a la resistencia que tenga a procesos de erosión o absorción de cargas por tráfico. En vías, para evitar problemas de durabilidad, se deben construir las

diferentes capas con sus respectivos espesores para evitar que se afecten tanto los materiales naturales como los estabilizados.

2.2.19 DEFINICIÓN DE LA CAL

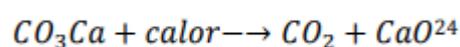
En un producto resultante de la descomposición de las rocas calizas (CaCO_3) por la acción del calor. Estas rocas calentadas a más de 900°C se obtiene el óxido de calcio (CaO), conocido con el nombre de cal, producto sólido de color blanco y peso específico de 3300 Kg/m^3 .

La cal reacciona violentamente en contacto con el agua, con desprendimiento de calor que alcanza los 90°C , realizándose la hidratación obteniéndose una pasta blanca llamada cal hidratada o cal apagada. Se forma entonces hidróxido de calcio o $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

La cal es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio (CaO). Se obtiene como resultado de la calcinación de las rocas calizas.

La cal tiene una infinidad de aplicaciones siendo cada vez más usada en el ámbito de la construcción tales como estabilización de suelos o como mezcla de morteros para mejorar sus características del mismo, La cal puede ser utilizada en la mejora las características de suelos, y en su mayoría cumple los objetivos requeridos.

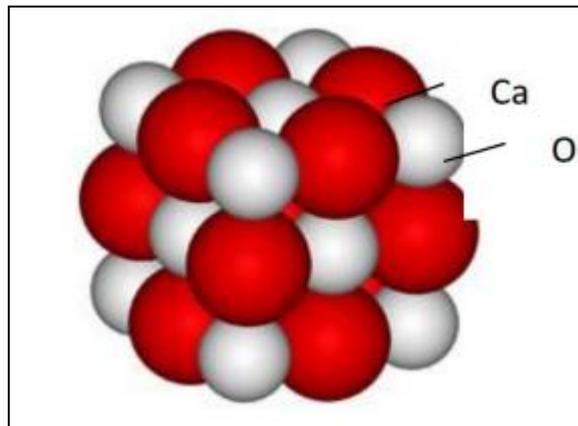
La cal, de diversos usos en construcción y vías, es un producto sólido de color blanco y amorfo, resultado de la descomposición mediante calor (900°C) de roca caliza que se refleja en la siguiente reacción:



La cal es uno de los productos con la capacidad de proveer una gran variedad de beneficios, los cuales se mencionan a continuación:

- Secar
- Modificar
- Estabilizar

Ilustración 2: Moléculas de la cal



Fuente: ICG – Gerencia, 2010

Ilustración 3: Cal



2.2.20 ESTABILIZACIÓN DEL SUELO CON CAL ESTRUCTURAL

La estabilización del suelo cambia considerablemente las características de este, produciendo resistencia y estabilidad a largo plazo, en forma permanente, en particular en lo que concierne a la acción del agua. La cal, sola o en combinación con otros materiales, puede ser utilizada para

tratar una gama de tipos de suelos. Las propiedades mineralógicas de los suelos determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadas desarrollarán.

Por diferencia con la mejora, la estabilización de suelos con cal es el proceso que persigue la alteración del comportamiento mecánico de un material para conseguir una resistencia estructural que podría decirse es impropia de dicho tipo de material.

Dado que en la mejora de suelos también produce alguna ganancia en consistencia, en ocasiones se establece la frontera entre estos procesos en función de un límite de incremento. Así algunos autores establecen la diferencia en una ganancia mínima de resistencia a la compresión simple sobre el valor inicial del suelo de 3,5 kg/cm².

La estabilización de suelos con cal persigue los que se derivan de la reacción puzolánica entre la cal y los suelos arcillosos, que se producen siempre a largo plazo. En este proceso es crítico el comportamiento y mantenimiento de las condiciones de curado del material para asegurar la producción de la reacción en su totalidad.

Los tratamientos de estabilización de suelos suelen requerir porcentajes altos de cal, dado que las primeras dosis de esta se emplean en los mecanismos de mejora y que es indispensable la disposición de cal libre en cantidad suficiente para mantener las reacciones puzolánicas perseguidas. Se suelen proyectar así tratamientos de estabilización con valores siempre superiores al 3 por ciento de cal, llegando incluso a valores del 8 y 10 %.

Para este proceso se emplean dos tipos de cal: Óxido cálcico (Cal Anhidra o cal viva) y el hidróxido cálcico (Cal hidratada o cal apagada), la cal que se utilice deberá cumplir con las especificaciones dadas en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas para la Construcción”

La mezcla del suelo con cal produce una reacción química llamado el proceso de floculación en donde las partículas de cal se desplazan sobre la superficie del suelo arcilloso y se realiza un intercambio iónico, haciendo que el suelo aumente su resistencia a la penetración y mitigue su expansión ante la presencia de agua. Asimismo, una de las características más importantes de la cal en el suelo, es el cambio en la plasticidad, aumentando o disminuyendo su límite líquido y límite plástico; también produce un aumento en la humedad óptima de compactación.

Ilustración 4: Estabilización de suelos con Cal



Fuente: National Lime Association, 2006

2.2.21 ESTABILIZACIÓN POR COMPACTACIÓN

La estabilización por compactación parte de un principio básico de mecánica de suelos, que es el de aumentar la densificación del suelo con un contenido de humedad determinado para obtener una disminución en el porcentaje de vacíos, reducción de agua por infiltración y aumento de fricción interna; como consecuencia de todos estos cambios, se logra el aumento en las propiedades de resistencia. Este tipo de estabilización está en función de la energía de compactación. En la actualidad se emplea en los laboratorios geotécnicos la energía propia del ensayo Proctor Modificado con el fin

de remoldear las muestras, considerando las condiciones de campo a las que estará sometida.

Ilustración 5: Compactación de suelos



Fuente: Yepes, 2014

2.2.22 REACCIÓN QUÍMICA ENTRE SUELO Y LA CAL

La acción de la cal en el suelo a corto plazo se caracteriza por los intercambios catiónicos. Tal como explica Leite, R. et al (2011) que “la adición de cal a los suelos arcillosos proporciona una abundancia de iones de calcio y magnesio, que tienden a desplazar otros cationes monovalentes comunes, como sodio y potasio presentes en las placas minerales de arcilla” (p. 3). Esto conduce a una reducción del espesor de la doble capa difusa de agua que rodea partículas de suelo.

Después de intercambios catiónicos, “Se produce un cambio aparente de la textura del suelo, por cuanto a las partículas de arcilla se aglomeran formando otras de mayor tamaño. Como resultado de ello se produce mejoras de plasticidad, debido a la capa de agua absorbida”

Esto es, debido a que la cal tiene la capacidad mejorar las propiedades físicas y químicas de las arcillas, acercándolas a propiedades similares de suelos granulares. Esto se da mediante el encapsulamiento de partículas de arcilla, de esta manera, también se evita la expansión del material, a este proceso se le llama floculación.

Si el suelo se compacta, también se produce una reacción a largo plazo entre la cal y los minerales sílico aluminosos del suelo fino, formándose complejos compuestos de silicatos aluminatos de calcio hidratados que son agentes cementantes que incrementan la resistencia de la mezcla y su durabilidad.

En los suelos finos tal es el caso como arcillas y limos son tratados con cal. Los átomos de calcio de cal son reemplazados los átomos de sodio de hidrogeno, estos a su vez se va a producir una reacción química al suelo cambiando sus características y produciéndolo muy friable. Se puede decir que el intercambio iónico expulsa a las partículas existentes en la superficie de los finos ya sea arcillas o limos.

Ilustración 6: Reacción puzolánica entre la cal y un suelo. Adaptado de “Materiales para base y subbase”



Fuente: Sánchez 2016

2.2.23 LA MODIFICACIÓN DE LOS SUELOS ARCILLOSOS CON CAL

La adición de cal a un suelo con una fracción de partículas finas relevante modifica su comportamiento por una conjunción de sus propiedades. En este apartado se describen los mecanismos que intervienen en este proceso, que se resume fundamentalmente en dos manifestaciones típicas:

- Una modificación de la textura del suelo.

- Un incremento de su resistencia

Estos hechos se producen en mayor o menor medida según el tipo de suelos, su granulometría y mineralogía, y el de la cal empleada, en función de su riqueza y actividad. Su justificación está en la alteración del estado natural de ambos materiales por las reacciones químicas que se producen en la interacción de sus estructuras.

Si bien es cierto que no existe unanimidad entre los técnicos sobre la totalidad de los mecanismos que intervienen en la reacción entre la cal y las partículas arcillosas de un suelo, sí es posible describir, y así se hace a continuación, los esquemas más generalmente aceptados y que justifican el comportamiento final obtenido.

2.2.24 MECANISMOS DE INTERACCIÓN DE LA CAL SOBRE UN SUELO

En la mezcla de la cal con un suelo arcilloso se producen dos tipos de reacción que se pueden agrupar según sus manifestaciones en:

- a) Una modificación “inmediata” de las condiciones de granulometría, textura y compacidad originada por:
 - Intercambio de iones entre la arcilla y la cal
 - Floculación de las partículas de arcilla
 - Reducción de la cantidad de agua adsorbida por la arcilla
- b) Una mejora de las características resistentes del suelo a medio y largo plazo, producida por:
 - Reacción puzolánica de cementación.
 - Carbonatación

Una primera diferencia entre ambos grupos de mecanismos es, como se ha citado, su carácter temporal, ya que las modificaciones de textura son

casi inmediatas, mientras que las resistentes suelen conllevar un plazo mayor.

La segunda diferencia estriba en su generalización. Mientras que el primer grupo de modificaciones es aplicable a casi todos los tipos de suelos arcillosos, las mejoras de resistencia se producen en mayor o menor medida, o incluso no llegan a ocurrir, en función de la mineralogía y tipos de suelos.

Finalmente, la tercera gran diferencia es la necesidad de cal precisa para alcanzar los efectos. En la mayoría de los casos la frontera o delimitación a partir de la cual se inicia el segundo grupo de mecanismos es la cantidad de cal. Puede decirse que las primeras dosis de cal van destinadas a la modificación de la textura y granulometría, y que para mejorar las características resistentes es preciso superar esta primera proporción. En caso contrario, no existirá adición activa o cal que facilite dichas reacciones.

2.2.25 MODIFICACIÓN DE LA TEXTURA Y CONSISTENCIA

El fenómeno de la floculación descrito tiene además una consecuencia indirecta de gran importancia sobre las estructuras de los suelos arcillosos. Se basa esta consecuencia en que la aglomeración de las partículas se produce desordenando la estructura laminar estable que hasta ese momento presentaba la arcilla.

Como conclusión de todo este conjunto de mecanismos de alteración de la forma y distribución de las partículas, se obtiene que un suelo arcilloso de comportamiento característico plástico, ante la adición de cal experimenta los siguientes fenómenos descritos:

- Una estabilización del desequilibrio eléctrico de las partículas que elimina la propensión a modificaciones en el suelo;

- Una reducción de la importancia de la capa doble y del contenido de agua adsorbida en torno a las partículas que reduce su susceptibilidad a los cambios de humedad;
- Un aumento de los huecos en la más a suelo-cal con respecto al volumen inicial del suelo;
- Un desorden de las partículas que le lleva a un comportamiento menos cohesivo basado en el rozamiento de las partículas del suelo.

Con relación a este último aspecto hay que citar que el desorden y cambio de comportamiento conlleva una mayor consistencia entendida ésta como un aumento en la capacidad portante del suelo.

2.2.26 LA REACCIÓN PUZOLÁNICA

Como se ha descrito, las arcillas son minerales que contienen en su estructura importantes cantidades de sílice y alúmina y otros elementos de sustitución como el hierro, magnesio, etc. En estas circunstancias es posible decir que las arcillas son productos naturales con propiedades puzolánicas.

En el caso de la mezcla de arcilla y cal, la sílice y alúmina procedentes de las partículas de arcilla al entrar en contacto con la cal, que proporciona el medio básico, lleva a formar silicatos y aluminatos de calcio hidratados. Estos productos son parecidos a los que se generan durante el fraguado del cemento portland.

La manifestación o consecuencia de la reacción puzolánica en una arcilla es la aparición de unos productos cementantes que se establecen entre las partículas de las arcillas que implican unos enlaces físicos mucho más fuertes que los eléctricos descritos hasta ahora. Por ello, el efecto se manifiesta no ya sólo en mejoras de valores tales como el ángulo de rozamiento interno o la resistencia a la penetración, sino incluso en cambios drásticos en la resistencia a compresión de los

materiales, que pasan de ser suelos o materiales sueltos a conglomerados.

2.2.27 CARBONATACIÓN DE LA CAL

Un fenómeno que, si bien no está asociado a la interacción del suelo con la cal es preciso mencionar como un efecto final de la mezcla es la carbonatación de la cal sobrante en el tratamiento.

Tan sólo cabe en este punto mencionar que, como se describió al tratar las propiedades de la cal, el proceso de su formación es una reacción reversible. Por ello, la exposición de los hidróxidos de calcio al dióxido de carbono puede dar lugar a la reconstrucción de los carbonatos de los que se originó la cal. Evidentemente, esta posibilidad de reacción de los hidróxidos resta actividad a la cal ya que detrae de la misma parte del principio activo que debe reaccionar con las arcillas.

2.2.28 EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE LA CAL

Como consecuencia de la combinación de los mecanismos descritos en el apartado anterior, la aplicación de cal a un suelo arcilloso origina una modificación en las propiedades físicas características de su comportamiento inicial.

Si bien ya se ha mencionado que en función de la mineralogía del suelo y de la proporción y forma de aplicación de cal se producen unos u otros procesos en mayor o menor medida, es posible resumir y englobar los efectos más genéricos de la mejora en los que siguen:

- Reducción de la humedad natural del suelo.
- Modificación de la granulometría.
- Aumento de la permeabilidad.
- Mayor trabajabilidad.

- Reducción del índice de plasticidad.
- Reducción del potencial de cambios volumétricos.
- Modificación de las características de compactación.
- Aumento inmediato de la consistencia.
- Mayor resistencia a medio y largo plazo.

2.2.29 EL DISEÑO DE TRATAMIENTOS DE SUELOS CON CAL

En este apartado se persigue plasmar las pautas que deben marcar la técnica del diseño de dichos tratamientos, como principal referencia en este apartado hay que citar especialmente la Guía Técnica “Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques” del Laboratoire Central des Ponts et Chaussées y del Service études Techniques des Routes et Autoroutes, publicada en enero de 2.000 como uno de los documentos más recientes y aproximados a la problemática a tratar hasta la fecha.

Objetivos

Un primer paso, conocidos los efectos de la cal sobre los suelos, es identificar el objeto del tratamiento perseguido. Como ya se ha dicho, no es lo mismo pretender una “mejora” de un suelo que una “estabilización”. Por ello, no debe ser el mismo proceso el que se aplique o guíe el diseño, ejecución y control de tratamientos tan diversos.

Identificación de los suelos

Desde el punto de vista global mencionado, es evidente que el diseño de un tratamiento de suelos con cal requiere analizar y conocer las propiedades del mismo. Los parámetros que se emplean usualmente para caracterizar los suelos son la granulometría, plasticidad y composición química.

La idea básica consiste en evaluar directamente en probetas de tamaño adecuado el comportamiento de la mezcla bajo la acción del agua, controlando el hinchamiento.

Estado de los suelos

Desde el punto de vista del diseño y aplicación en la obra de un tratamiento de suelos es muy importante conocer su estado hídrico por cuanto condiciona:

- La elección de los productos o presentaciones de los mismos más idónea, pudiendo por ejemplo precisar aplicaciones que sequen o que añadan humedad al suelo.
- La eficacia de las reacciones previstas, que conllevan procesos de disolución y dispersión que hay que asegurar.
- Las condiciones de puesta en obra, tanto desde el punto de vista de la rodadura de la maquinaria como del de la eficacia de las operaciones de mezcla, compactación, nivelación, etc.

La cal para emplear en los tratamientos

Una vez seleccionada la cal como ligante a emplear en el tratamiento, como opción más ventajosa por su idoneidad técnica y/o económica, es evidente que hay que definir las características del producto a aplicar.

Otras consideraciones

Del estudio de los factores que influyen en la eficacia de los tratamientos se deduce que, en caso de existir sospecha de la influencia de factores externos adicionales habrá también que realizar investigaciones y análisis sobre aspectos como la presencia de aguas agresivas, los riesgos de los fenómenos de lixiviado y la posible presencia de hielo.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **SUELOS**

Puede definirse, como el material mineral no consolidado en la superficie de la corteza terrestre, que ha estado sometido a la influencia de fenómenos y factores genéticos y ambientales.

- **CAL**

Es un aglomerante que procede de la calcinación de piedras calizas, como consecuencia de las variaciones de composición de la roca puede obtenerse una serie de cales, que varían desde cales muy puras; altamente cálcicas.

- **PAVIMENTO:** El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito.

- **SUB RASANTE:** El suelo preparado para sostener una estructura o un sistema de pavimento. Es la fundación de la estructura del pavimento. El suelo de subrasante es llamado a veces suelo de fundación. (ICG, 2000).

- **SUELO ARCILLOSO**

Conformado por arcillas o con predominancia de éstas. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.

- **GRANULOMETRÍA:** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas. (MTC, 2008).
- **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO O MECÁNICO:** Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños. (MTC, 2008).
- **TAMIZ:** Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas. (ICG, 2000).
- **LÍMITE LÍQUIDO:** Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo. (ICG, 2000).
- **LÍMITE PLÁSTICO:** Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido. (ICG, 2000).
- **AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte. (MTC, 2013).
- **ARCILLAS:** Partículas finas con tamaño de grano menor a $2\ \mu\text{m}$ (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales. (MTC, 2008).
- **CURVA DE COMPACTACIÓN (CURVA DE PROCTOR):** Representación gráfica que relaciona el peso unitario seco (densidad) y el contenido de agua del suelo para un determinado esfuerzo de compactación. (MTC, 2008).
- **CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO):** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo. (MTC, 2008).
- **BASE:** Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas

ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

- **TRANSITABILIDAD:** Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado tal de la misma que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo.
- **COMPUESTO QUÍMICO:** Es una sustancia formada por la combinación de dos o más elementos distintos de la tabla periódica.
- **REACTIVO:** Sustancia que, por su capacidad de provocar determinadas reacciones, sirve en los ensayos y análisis químicos para revelar la presencia o medir la cantidad de otra sustancia.

CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los problemas que tenemos con los caminos vecinales a nivel de afirmado, el cual se ha proyectado el desarrollo entre localidades permitiendo actualmente que se ejecuten y proyecten obras de mejoramiento, esto conlleva al uso de grandes volúmenes de material de afirmado para la utilización de la misma y al mejoramiento del terreno de fundación y la colocación del afirmado como base.

Recorriendo al uso masivo de canteras ubicadas en bancos naturales y en los cauces de los ríos que en algunos casos cumplen con las especificaciones técnicas para ser usadas en la estructura de la base con material afirmado.

En nuestra investigación desarrollaremos un trabajo basándose en mejorar los suelos, que presentan humedades que varían en el tiempo y propiedades de regulares a pobres como parte de la capa nivelante y así colocar la estructura del afirmado en un terreno firme, en nuestro caso se propone mejorar los suelos del Camino Vecinal SM 804 Alto Ponaza – Miraflores del Distrito de Shamboyacu, provincia de Picota, este tramo está a nivel de sub rasante el cual necesita de un mejoramiento para estabilizar la estructura (afirmado)

A la fecha las autoridades de la provincia de Picota, no han podido solucionar el problema, esto se debe a la falta de recursos, por lo que se

observa la intransitabilidad permanente en algunos tramos de la vía, en ocasiones han perfilado el terreno natural, esta solución no refleja ninguna confiabilidad, puesto que, existen factores que hacen que las constantes deformaciones y empozamiento de agua de la vía reaparezcan nuevamente. Esto implica que se deba hacer un mantenimiento periódico de la vía generando gastos y tiempos innecesarios. Cabe indicar que el material colocado en su tiempo y a consecuencia de la tipología del terreno y a las pendientes hace que las aguas retiren el material colocado.

En nuestra investigación tenemos como objetivo investigar las características de los suelos y luego determinar la influencia en el mejoramiento de los suelos del afirmado, usando cal como aditivo estabilizante.

3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo influye la cal estructural en el mejoramiento del afirmado del Camino Vecinal SM 804 Alto Ponaza, Miraflores, distrito de Shamboyacu - Picota – San Martín?

3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS

- ¿Cuál es la Cal Estructural necesaria para mejorar la resistencia del afirmado?
- ¿Cuál es el incremento porcentual de la plasticidad del suelo del afirmado para su estabilización?
- ¿Cuáles es el incremento porcentual de la humedad óptima de compactación de la subrasante del suelo estabilizado?
- ¿Cuánto mejora el valor de Soporte California (CBR) usando la cal como material estabilizador de los suelos de la subrasante?

3.3 OBJETIVOS

3.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la resistencia del afirmado con adición de cal estructural del Camino Vecinal SM 804 Alto Ponaza, Miraflores, distrito de Shamboyacu - Picota – San Martín.

3.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Clasificar el material en base a sus características físicas, con la finalidad de determinar el porcentaje de finos y así determinar la cantidad de cal a utilizar.
- Determinar los límites de plasticidad del suelo natural y comparar los resultados con la plasticidad del suelo estabilizado con cal estructural.
- Determinar las propiedades físico - mecánicas del suelo ya estabilizado.
- Obtener un porcentaje de cal en base a métodos los cuales determinan el porcentaje de cal necesario para estabilizar el suelo y porcentaje de cal óptimo el cual será obtenido mediante los ensayos de laboratorio.

3.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Con el presente proyecto de tesis, se pretende dar a conocer el uso de la cal para la estabilización del material afirmado, el cual mejora las características naturales de suelo de modo que aumente su capacidad portante, también mejora las características plásticas de los suelos.

Al aumentar el valor de soporte del afirmado como base se evitará la remoción del suelo existente y que este sea reemplazado con otro material granular lo cual significaría un costo elevado. Al mejorar el material afirmado con el uso de cal, esto ayudará a reducir el espesor de la capa de soporte.

3.5 LIMITACIONES

- Realizar más ensayos de CBR ya que los moldes disponibles eran limitados debido al uso continuo de otros tesisistas y estudiantes.
- Insuficiente espacio y tiempo en el Laboratorio de Suelos, para realizar los ensayos, ya que existen horarios limitados para trabajar.

3.6 HIPÓTESIS

3.6.1 Hipótesis General

H1: El uso de la cal como aglomerante para la estabilización del afirmado como base de la vía **causa** incremento en la capacidad de soporte californiana (CBR) y resistencia al corte de los suelos.

H2: El uso de la cal como aglomerante para la estabilización del afirmado como base de la vía **no causa** incremento en la capacidad de soporte californiana (CBR) y resistencia al corte de los suelos.

3.6.2 Hipótesis General

- La incorporación de la cal con el material afirmado aumenta la capacidad portante (CBR) del suelo siendo esta superior al suelo natural.
- El uso de la cal disminuye el índice de plasticidad del material afirmado.
- El uso de la cal aumenta la densidad seca máxima del material afirmado.

3.7 VARIABLES

3.7.1 Identificación de las variables

Variable Independiente:

Cal Estructural.

Variable dependiente:

Resistencia del material afirmado

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

4.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

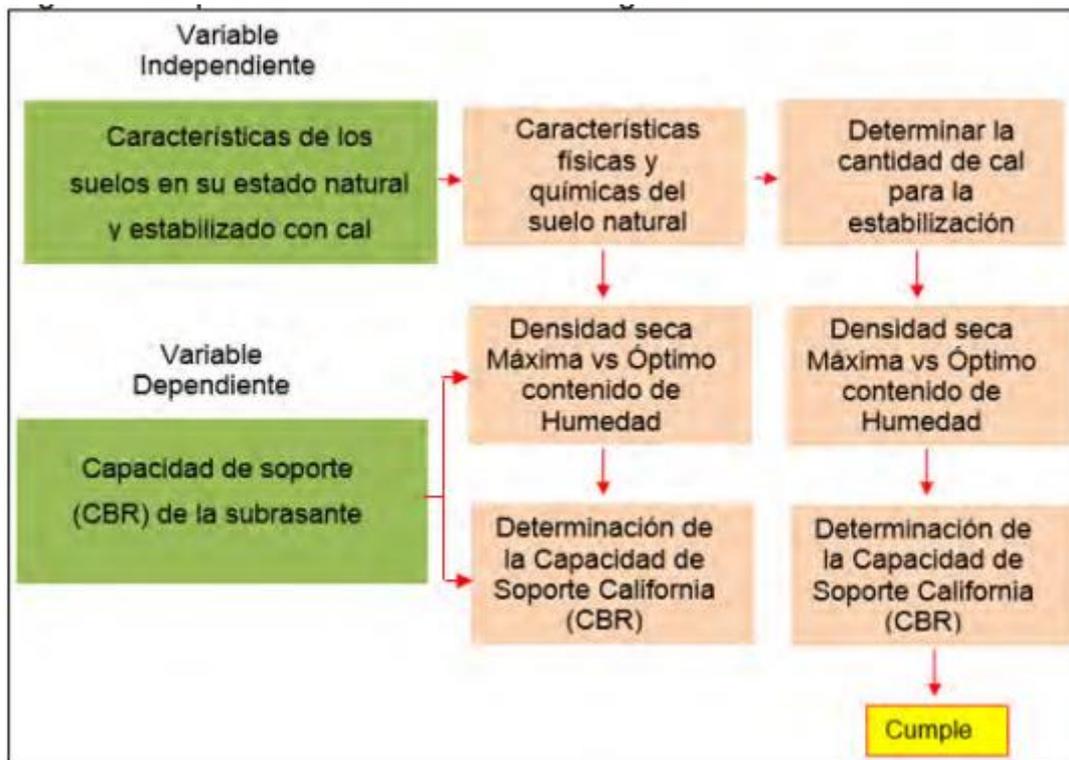
La investigación pertenece a un Tipo de Investigación Experimental.

Porque se busca determinar el efecto que causa en la Capacidad de Soporte de la subrasante de la vía, al ser estabilizados con cal, previamente caracterizados para establecer la cantidad en peso de conglomerante que se debe añadir en peso y establecer la significancia en el comportamiento. También, porque manipularemos la variable independiente, cuyas cantidades usadas de cal, producen efecto deseado en la variable dependiente.

4.1.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En el diseño de investigación se usará una metodología experimental, que nos permita determinar el efecto que causa en la Capacidad de Soporte del suelo, con el uso de la cal como aditivo para el mejoramiento de las propiedades de los suelos.

Ilustración 7: Esquema del diseño de la investigación



Fuente: Elaboración Propia

4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Camino vecinales sin asfaltar en la provincia de Picota.

4.2.1 POBLACIÓN

Suelo del Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN.

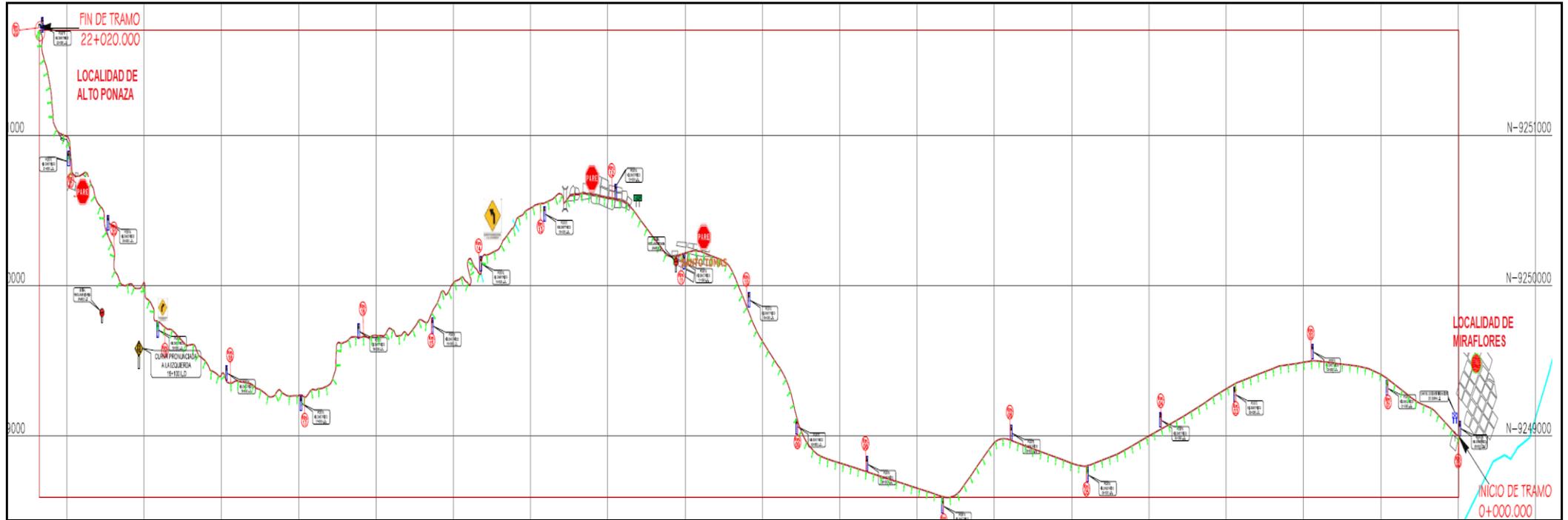
4.2.2 MUESTRA

Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN.

4.3 LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE EXTRACCIÓN

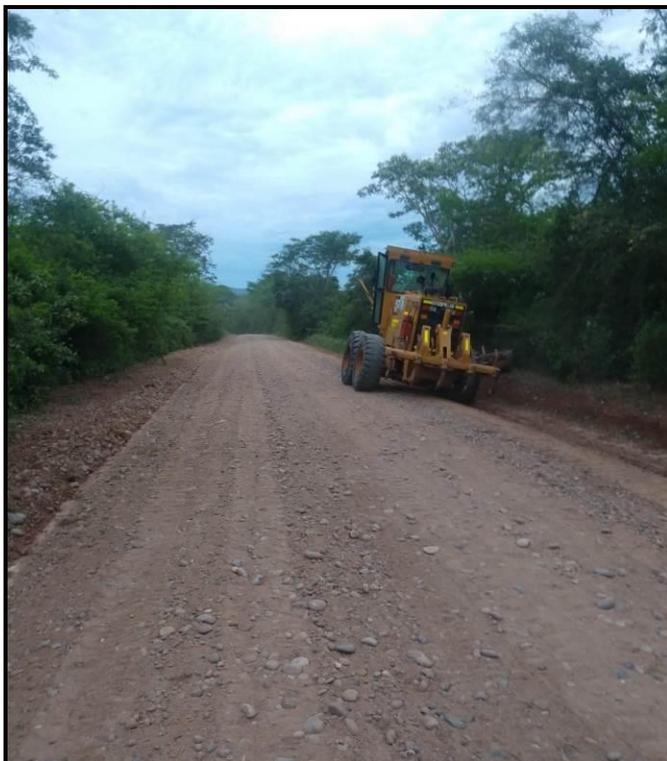
La vía seleccionada para esta investigación se encuentra ubicada en el departamento de San Martín, provincia de Picota, distrito de Shamboyacu, localidad de Alto Ponaza - Miraflores.

Ilustración 8: Localización de la zona de investigación

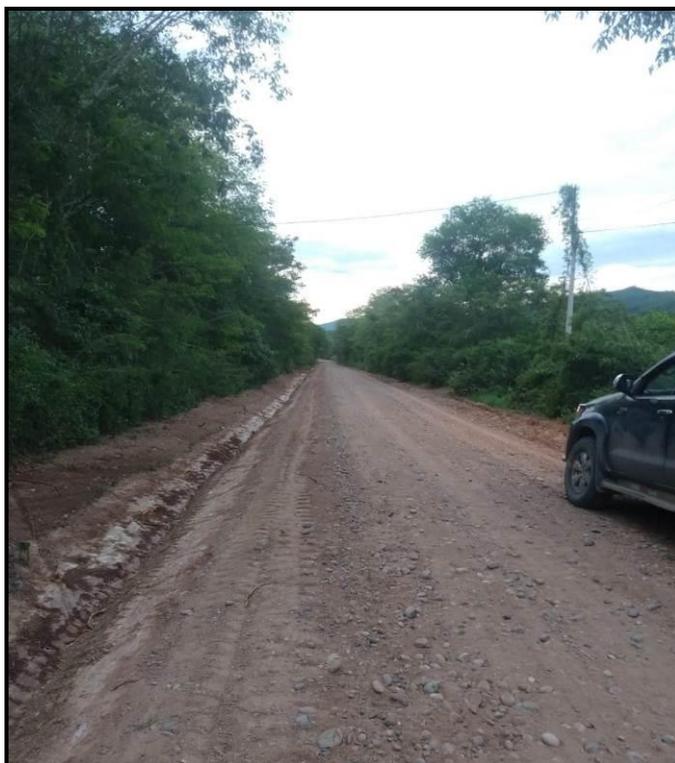


Fuente: Elaboración Propia

4.4 VERIFICACIÓN IN-SITU DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN DE LA PRESENTE TESIS



Fuente: Fotografías propias de campo



Fuente: Fotografías propias de campo



Fuente: Fotografías propias de campo

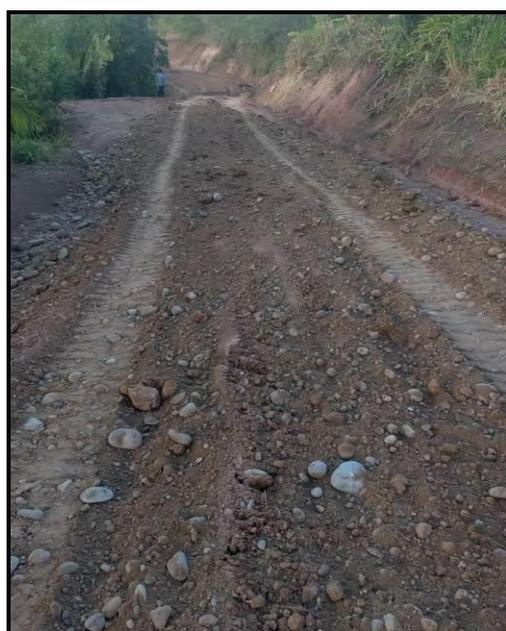


Fuente: Fotografías propias de campo

Se aprecia en las fotografías el estado actual del camino vecinal en la parte alta camino a Alto Ponaza



Fuente: Fotografías propias de campo



Fuente: Fotografías propias de campo

4.5 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.5.1 TÉCNICAS

Se empleará en la recolección de datos la técnica de Experimentación.

4.5.2 INSTRUMENTO

Para la técnica de Experimentación se utilizará una Ficha de experimentación como instrumento.

4.5.3 PROCEDIMIENTO

- Se realizarán las pruebas correspondientes en el Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN.
- Desarrollo de ensayos de laboratorio especiales para la recolección de Datos.
- Validación de los ensayos de Laboratorio y de tal manera validar la información obtenida.
- Procesamiento de Datos obtenidos en Laboratorio.
- Organización de los datos en cuadros.
- Representación de los datos mediante tablas y gráficas.
- Análisis e interpretación de los datos.
- Elaboración de los informes respectivos en el Proyecto de Tesis

4.5.4 CARACTERÍSTICAS DEL ESTABILIZANTE

El estabilizante que se usó para realizar los ensayos de laboratorio como el Proctor Modificado y CBR fue Cal de Obra la marca Martell con las siguientes características.

- Color : Blanco Humo o grisáceo
- Aspecto : Polvo
- %Ca (OH)₂ : 3-15%
- Olor : Inodoro
- Densidad Relativa : 2.73 g/cm³

Compuesto formado de trazas de carbonato de calcio, hidróxido de calcio o bien una mezcla de carbonato de calcio y partículas de rocas disgregadas. Es un aportante de calcio. El producto se encuentra disponible en la mayoría de las tiendas del rubro materiales de construcción.

Ilustración 9: Cal de obra



Fuente: Adaptado de Sodimac.com.pe, 2018

4.6 PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

La información será procesada en forma computarizada a través del Programa de Software: Excel (para la base de Datos) y en Gabinete con cálculos respectivos. De tal manera el procesamiento de la información nos permitirá elaborar la matriz de datos con la que se diseñará las tablas y gráficos.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

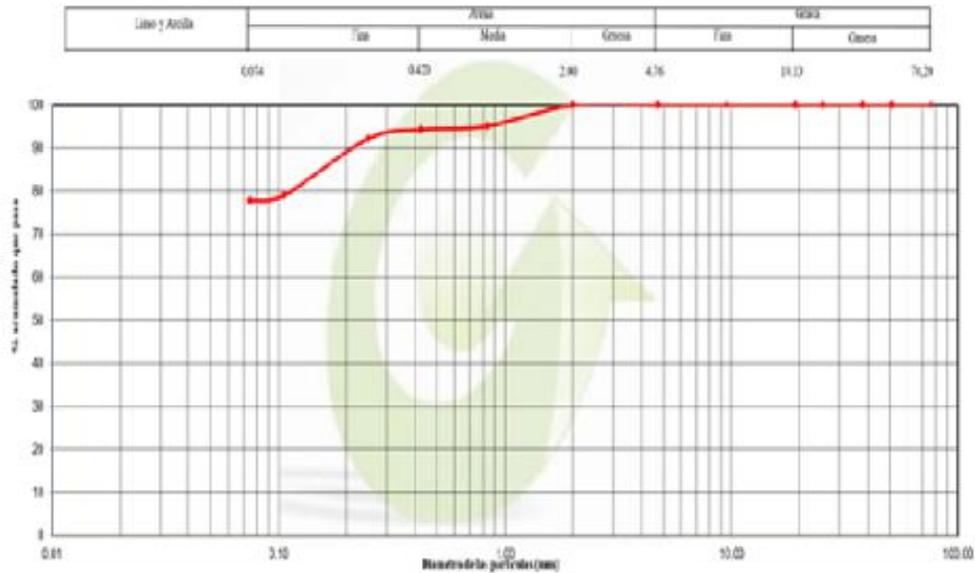
Tabla 1: Análisis Granulométrico del material

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM-D422)			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	Nº	Abertura (mm)	
	3 "	76.2	100
	2 "	50.8	100
	1 1/2 "	38.1	100
	1 "	25.4	100
	3/4"	19.1	100
	3/8"	9.52	100
	Nº 4	4.76	100
	Nº 10	2	100
	Nº 20	0.84	95.1
	Nº 40	0.425	94.3
	Nº 60	0.25	92.2
	Nº 140	0.106	79
	Nº 200	0.075	77.7

Fuente: Norma ASTM-D422

CURVA GRANULOMÉTRICA

Podemos apreciar como la curva se va dando a al aculando en porcentajes que pasa por la malla 200 en un 77.7% en material fino y el diámetro de partícula que existe en la muestra.



CURVA GRANULOMÉTRICA

A continuación, se presenta la distribución como se separa los materiales finos con lo gruesos y los porcentajes que tiene estas muestras en la que se extrajo, podemos apreciar que existe un 77.7% de finos en su mayoría y una pequeña cantidad de arena también.

Distribución Granulométrica			
% Grava	Gruesa	-	0
	Fina	-	
% Arena	Gruesa	-	22.3
	Mediana	5.7	
	Fina	16.6	
% Finos		77.7	77.7

En este ensayo mayormente de clasificación de suelos hemos utilizado según ASTM los diferentes estándares de clasificación de suelos y podemos decir que esta n la normativa.

CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D - 2487

Se determinó que el tipo de suelo o clasificación de suelo según normativa se dedujo que es ML por su nomenclatura en inglés y M= mud L=low (limo de baja plasticidad con arena).ZXS.

Clasificación (S.U.C.S.) ASTM-D2487			
ML	Limo de baja plasticidad con arena		
Clasificación (AASHTO) ASTM-D3282			
-	Indice de Grupo :	15	-

CONTENIDOS DE HUMEDAD

Podemos apreciar que se presenta En estado natural un contenido de humedad al 2.82%.

Contenido de Humedad	(%)	2.82
-----------------------------	------------	-------------

LIMITES DE CONSISTENCIA	
Límite Líquido (LL) ASTM-D4318 (%)	32
Límite Plástico (LP) ASTM-D4318 (%)	24
Índice Plástico (IP) (%)	8

ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTÁNDAR

Se realizó en paralelo al de capacidad de carga, ya que se utilizó el mismo molde, para su ejecución se tomaron como referencia cuatro dosificaciones de cal; uno al natural y otras con dosificaciones estas fueron: 5.5%, 7.5% y 9.5% usando el criterio de antecedente predecesores que sirvieron como guía en esta investigación y por otra parte según el manual de carretas del MTC 2018 y el manual de tratamientos manual de estabilización de suelo tratado con cal. Me indicaba que a mayor contenido de cal será mayor su plasticidad se recomienda no mayor de entre 8% y 9% (porciento). Se uso un ensayo Proctor de 5 capas seguido por 56, 25, 12 golpes según los parámetros del mismo modo que en el caso anterior cuando se realizó el ensayo sin cal, los parámetros fueron el mismo, la única variante fue la compactación. A

continuación, se muestran los datos de densidades secas máximas y humedades óptimas de compactación, los gráficos se presentan Datos del Ensayo de Compactación en diferentes concentraciones de cal.

CAPACIDAD DE CARGA (C.B.R.)

El siguiente ensayo de CBR se condujo con compactación uno al natural y su similar de porcentajes en: 5.5%, 7.5%, 9.5%. Se uso del mismo modo usando criterios de los antecedentes por los porcentajes que mostraron los antecesores y por otro lado fue corroborada por el manual de carretas del MTC 2018 y el manual de tratamientos manual de estabilización de suelo tratado con cal. Se dejo madura por 4 días es evaluado su expansión y también su penetración en el cual se trabajó con 1" y 2" de profundidad y el CBR en un 90, 95 y 100% de compactación.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA NTP 339.141 ASTM D-1557)

Al natural se pudo evaluar que su MDS y OCH

<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	1.773
<i>Humedad óptima (%)</i>	15.2

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	4.2	0.2":	8.3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	3.1	0.2":	6.1
C.B.R. al 90% de M.D.S. (%)	0.1":	0.3	0.2":	2.3

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) (NORMA NTP 339.145 - ASTM D 1883)

El resultado que se da a conocer es al natural sin ningún aditivo y el suelo de la subrasante se encuentra en su estado natural según los ensayos de CBR nos indica: Podemos apreciar que los CBR al 100% a 1" se obtuvo un CBR al 8.3%. Mientras para subrasante se requiere del 95% se obtuvo que a un 1" un CBR al 3.1%.

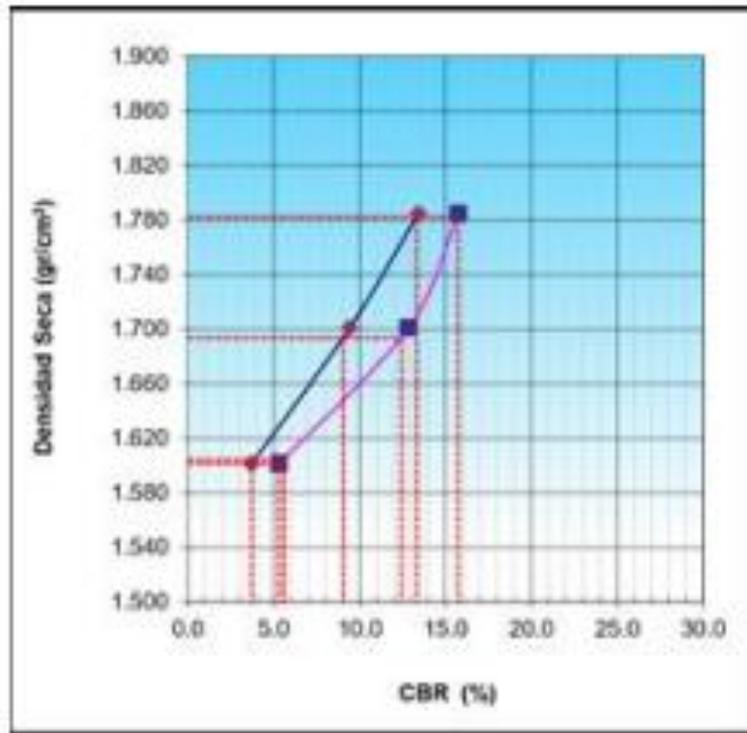
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA NTP 339.141 ASTM D-1557)

Incorporando 5.5% de cal, el DMS 1.783 y OCH 14.1 varía en cuanto a un suelo natural.

<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	1.783
<i>Humedad óptima (%)</i>	14.1

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	13.3	0.2":	15.7
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	9	0.2":	12.4
C.B.R. al 90% de M.D.S. (%)	0.1":	3.9	0.2":	5.6

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.).



Podemos observar la relación que existe en comparación con la densidad seca 1.783 y el CBR con respecto a la subrasante al 95% y 1" de penetración en sus % la relación que existe.

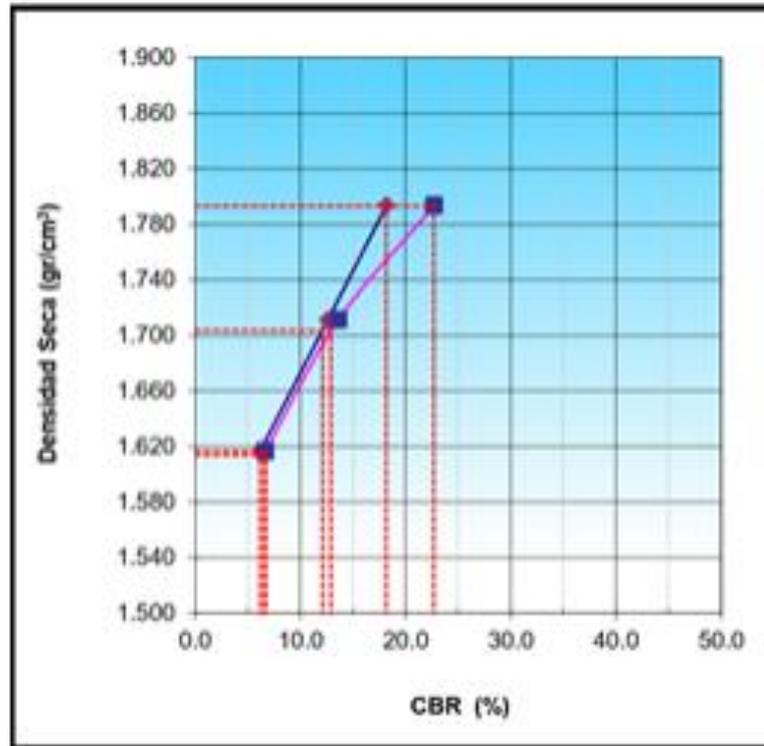
Se obtuvo un CBR de 9%.

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA NTP 339.141 ASTM D-1557)

Incorporando 7.5% de cal, el DMS 1.793 y un OCH 13.2 existe variación en comparativa de un 5.5% de cal.

<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	1.793
<i>Humedad óptima (%)</i>	13.2

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)



C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	18.2	0.2"	22.7
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	12.1	0.2"	12.9
C.B.R. al 90% de M.D.S. (%)	0.1"	6.0	0.2"	6.6

Podemos observar la relación que existe en comparación con la densidad seca 1.793 y el CBR con respecto a la subrasante al 95% y 1" de penetración en sus % la relación que existe.

Se obtuvo un CBR de 12.1%.

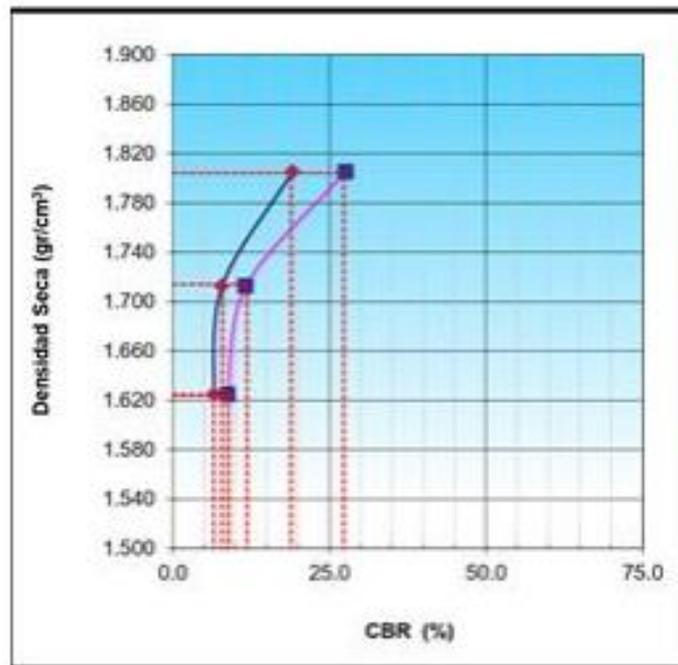
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO (NORMA NTP 339.141 ASTM D-1557)

Incorporando 9.5% de cal, el DMS 1.804 y OCH 12.9 existe variación en comparativa de un 5.5% de cal.

Densidad máxima (gr/cm ³)	1.804
Humedad óptima (%)	12.9

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	18.9	0.2":	27.3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	7.9	0.2":	11.9
C.B.R. al 90% de M.D.S. (%)	0.1":	6.6	0.2":	8.9

RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) (NORMA NTP 339.145 - ASTM D 1883)



podemos observar la relación que existe en comparación con la densidad seca 1.804 y el CBR con respecto a la subrasante al 95% y 1" de penetración en sus % la relación que existe. Vemos como se reduce su CBR al adicionar más contenido de cal (óxido de calcio).

Se obtuvo un CBR de 7.9%.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. DISCUSIÓN N°01

Objetivo Específico N°1

Evaluar la influencia de la dosificación de cal, sobre las propiedades físicas del Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN.

La determinación de la resistencia del material afirmado incorporando cal estructural. Se determinó su porcentaje óptimo al incorporar 8 % cal estructural, su CBR de 5.4% incremento en 8.3 % y su IP de 11.2% se redujo al 3.6%; logrando mejorar el material. Tiene concordancia en mi estudio pude determinar que mi óptimo de cal es al adicionar el 5.5% de cal en un suelo ML incrementar el+ CBR en un 9%, tiene similitud, la cal mejora las propiedades físicas del afirmado.

6.2. DISCUSIÓN N°02

Objetivo Específico N°2

Evaluar la influencia de la dosificación de cal, sobre las propiedades físicas del Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN.

La determinación de la resistencia del material afirmado incorporando cal estructural. Se determinó que el porcentaje óptimo al 3% de cal, incrementando su CBR de 4.8% al 11.5% y MDS 1.57 y OCH 15.6 posterior a su estabilización; Al aumentar los porcentajes de cal su CBR disminuye levemente.

Se establece la similitud ya que al dosificar al 7.5% en mi estudio obtuve un DMS 1.793 y OCH 13.3 y obtuve un CBR de 12.1% y se concuerda que la cal mejora su densidad seca y da como optimo contenido de humedad.

6.3.DISCUSIÓN N°03

Objetivo Específico N°3

Evaluar la influencia de la dosificación de cal, sobre las propiedades físicas del Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN.

La determinación de la resistencia del material afirmado incorporando cal estructural. Se determinó que son suelos CH con 12.5 % de cal, su IP al natural 19% se redujo a 8%, y su CBR de 4.8% aumento en 26% en cuanto al cloruro de sodio se determinó al 2.5%, su IP del 19% al 13% y su CBR del 4.8% se incrementa al 9.3%; Aumentando porcentajes de cloruro su CBR disminuye.

Se concuerda con el investigador, en mi investigación al aumentar la dosis de cal al 9.5% con respecto al suelo, se puede observar una notable disminución del CBR dando como resultado CBR 7%, se denota que la aumentar la dosis de cal por más de 9% el CBR se reduce.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se establece que aumentó considerablemente en cuanto a su resistencia y se mejoró relativamente su portabilidad, En términos de eficiencia en este estudio una dosificación de 5.5% de cal con respecto al suelo. Se concluye un aumento del CBR. En 9% con respecto a la subrasante al 95% de compresión.
- La granulometría del material afirmado, siendo estable y trabajable, según estas especifica la norma AASHTO T-87-70; ASTM D 421-58, obtuvimos valores y estos cumplen con lo establecido y no requiere material de préstamo.
- El LL 32% e LP 24% y IP 8% se encuentran y están dentro de la norma establecida. Siendo este a su vez de un 8 en estado natural.
- La influencia y determinación de la cal, se altera su forma inicial y significativa en tanto a sus condiciones físico, químicas y puzolánicas del mismo. Estos ensayos nos conllevan que los límites de Atterberg se produjeron cambios admisibles tanto LL, LP y por terminante y en IP.
- Su densidad seca máximo DMS 1.783 y OCH 14.1 contenido de humedad mejoro notablemente de un suelo natural de regular a uno mejorado cumpliendo así, Especificaciones del MTC.
- El índice plástico decreció en todos los casos, a razón de los suelos con IP inferior al 10% y LL inferior al 20% son suelos no cohesivos en diferentes tipos las muestras se obtuvieron decrecimientos favorables.
- A partir de la revisión realizada se puede afirmar que la inclusión cal en los materiales de subrasante genera una mejora en las propiedades y estas son evaluadas por las investigaciones, tanto del ámbito nacional

como del internacional, revelan que los suelos al incorporar cal mejoran sus características del suelo tanto físico como químicos y sobre aumenta el CBR de la misma.

- A la fecha de la presente tesis se viene ejecutando la FASE III Mantenimiento Rutinario.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda al considerarse la cal como un estabilizador por un tema ecológico, biodegradable y es amigable con el medio ambiente ya que no produce residuos y da la voluntad de un desarrollo sostenible para los habitantes de la zona.
- Se recomienda usar este tipo de estabilizador oxido de calcio por ser más sencillo, y económico, en comparación de otros tipos de estabilizadores, al tener una mayor facilidad de trabajo y poder realizar en menor tiempo que representa una mejor relación en cuanto a costo y beneficio.
- La recomendación de la cal como floculación y también como aglomerante tendrá una utilización idónea para las especificaciones técnicas del suelo a tratar conociendo su OCH para calcular el agua requerida para su homogeneización y así encontrar mejores resultados.

CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Terrones Cruz, A. T. (2019). Estabilización de suelos arcillosos adicionando cal para el mejoramiento de subrasante en el sector Barraza, Trujillo–2018.
- Cañar, Z., (2017). Tesis “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón”. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Altamirano y Díaz, (2015). “Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal en las vías de la comunidad de San Isidro del Pegón Municipio Potsí-Rivas”. Managua, Nicaragua.
- FERNANDEZ LOAIZA, Carlos; Mejoramiento y Estabilización de Suelos. Universidad de Guanajuato. 1982. p. 109 – 115.
- MELENDRES CHUQUILLANQUE, E. Estabilización química con cal viva para carreteras con suelos arcillosos [en línea]. Carmen Chilón Muñoz, tut., Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Piura, Facultad de Ingeniería Civil, 2007.
- GUAMÁN ILER, I. Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio) [en línea]. Fricson Moreira, tut., Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato, Facultad Ingeniería Civil, 2016. [Consulta: 18-04-19].
- HUEZO MALDONADO, H. y ORELLANA MARTINEZ, A. Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en El Salvador [en línea]. Dilber Sánchez Vides, tut., Tesis de pregrado. Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil, 2009.
- Gavilanes, E. (2015). Estabilización y Mejoramiento de Sub-Rasante Mediante Cal Y Cemento Para Una Obra Vial en el Sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur. Universidad Internacional Del Ecuador.

- NATIONAL LIME ASSOCIATION. Manual de estabilización de suelo tratado con cal [en línea]. Editado por Asociación Americana de Constructores de Carreteras. Noviembre 2006.
- NORMA TÉCNICA PERUANA, 2017. Cales, cal vida y cal hidratada para estabilización de suelos, requisitos NTP 334.125:2017. Lima: 2 a ed. INACAL.
- ZAVALA ASCAÑO, G. Estabilización de suelos tropicales con aditivos químicos en carreteras no pavimentadas de la selva baja del Perú caso: Caminos vecinales de Madre de Dios. Roque Sánchez Cristóbal, tut., Tesis de doctoral. Universidad Nacional Federico Villareal. Escuela Universitaria de Post Grado, 2015.
- Palli, E. (2015). Guía básica para estabilización de Suelos con Cal en Caminos de Baja Intensidad Vehicular en la Provincia de San Román”. Universidad Nacional del Altiplano.
- ICG, & GERENCIA, I. D. (2010). ESTABILIZACION DE SUELO-CAL. ESTABILIZACION DE SUELO-CAL DE LA SUB RASANTE DE LAS VIAS URBANAS DE LA CIUDAD DE JULIACA.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA. (2011). TESIS. ESTABILIZACION DE UN SUELO ARCILLOSO DE CAL HIDRATADA PARA SER UTILIZADA COMO CAPA SUBRASANTE. OBREGON, SONORA.
- UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES. (2016). TESIS “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ADITIVOS (Eco Road 2000) PARA PAVIMENTACIÓN EN PALIAN – HUANCAYO – JUNÍN. HUANCAYO, JUNIN”.

ANEXO

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. OBJETIVOS DEL SERVICIO

1.1. Objetivo General

Realizar el Mantenimiento Periódico y Rutinario del Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN, a fin recuperar la transitabilidad de la citada vía.

1.2. Objetivos Específicos:

1. Garantizar la seguridad del tránsito y la vida útil de la carretera, manteniendo el límite económico establecido por el tipo de camino.
2. Elaborar un Plan de Trabajo que, habiendo identificado los distintos problemas de la vía actual, incluidos los de tipo ambiental, para la defensa y preservación del medio ambiente, presente las soluciones adecuadas, exponiéndolas de una forma clara y lineal, para que se tenga una tarea fácil a cumplir y, al mismo tiempo, el inspector pueda realizar su función con facilidad.
3. Lograr la integración socioeconómica y política de los pobladores del campo con la ciudad y, por ende, a nivel nacional.
4. Facilitar el acceso de la población de la zona de intervención a los servicios públicos, especialmente los de educación (superior) y salud (atenciones especializadas), así como el acceso a los servicios privados que se ofertan en la capital del distrito.
5. Favorecer la economía familiar a través de la disminución del costo de operación del transporte terrestre tanto de productos como de pasajeros.
6. Reducir las condiciones de pobreza de las zonas rurales.

2. **NORMATIVIDAD UTILIZADA**

Para la elaboración del presente plan de trabajo para la ejecución del mantenimiento periódico y rutinario del camino vecinal se tuvo en cuenta los manuales siguientes:

1. Manual de Mantenimiento o Conservación de Carreteras (R.O. N°08-2014-MTC/14) (27.03.14).
2. Glosario de Términos de uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial. (R.O. N°18-2013-MTC/14) y sus modificatorias.
3. Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. (R.O. N°22-2013-MTC/14) (07.08.13).
4. Manual de Ensayo De Materiales para Carreteras EM -2016. (R.O. N°18-2016-MTC/14) (03.06.16).
5. Manual de Carreteras de Suelos, Geología y Geotecnia, Sección Suelos y Pavimentos. (RD N°10-2014-MTC/14) (09.04.14).

La información plasmada en el presente plan de trabajo se desarrolló empleando los siguientes programas:

- Microsoft Office; procesador de textos y hoja de cálculos.
- Microsoft Project; para la programación.
- AutoCAD/Civil 3D; para la elaboración de planos.
- S10 para la elaboración de costos y presupuestos.

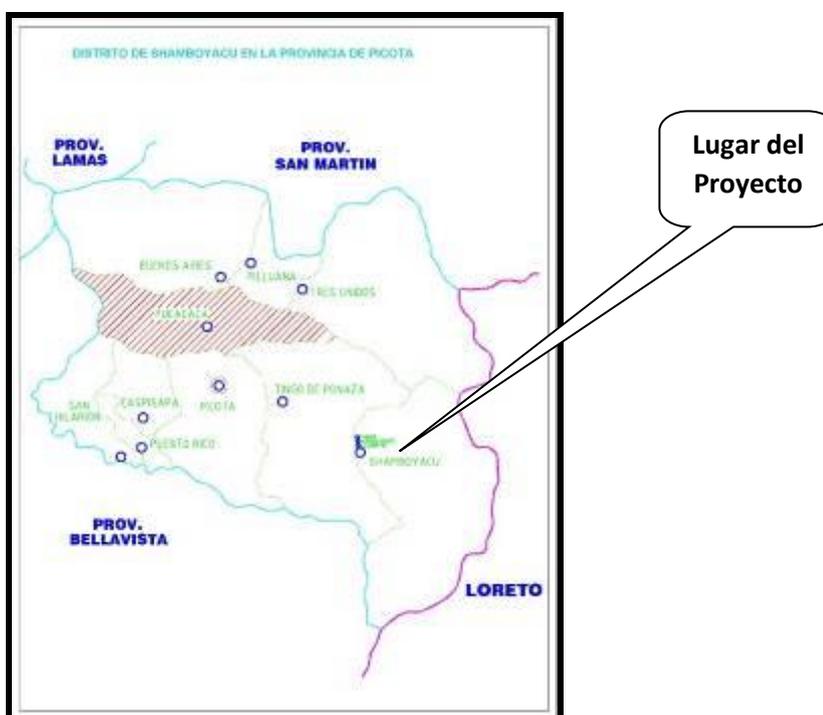
3. **UBICACIÓN**

Política

Región	:	San Martín
Provincia	:	Picota
Distrito	:	Shamboycu
Localidades	:	Alto Ponaza - Miraflores
Zona del Proyecto	:	18S

Región Natural : Selva
Tramo : **ALTO PONAZA - MIRAFLORES**
Altitud promedio : 679.00 msnm
Longitud : 20+000.00 km
Ruta : SM - 805
Inicio : 00+000.00 km
Fin : 20+00.00 km

Ubicación del Distrito de Shamboyacu



Fuente: Instituto Vial Provincial Municipal de Picota

Geográfica

SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN

INICIO	PROGRESIVA	COORDENADAS		ALTITUD m.s.n.m
		NORTE	ESTE	
EMP. SM 108 – LOCALIDAD DE MIRAFLORES	00+000.00	9226502.000	371248.000	279.00
LOCALIDAD DE ALTO PONAZA	20+200.00	9229062.650	373091.470	750.00



Foto N°01: Inicio del Tramo: EMP. SM-108 (Localidad de Miraflores)



Foto N°02: Final del Tramo: Localidad de Alto Ponaza

Accesibilidad

Para llegar al inicio del camino vecinal materia del presente servicio, se parte de la ciudad de Picota, desplazándose por la ruta SM-108 (Alto Ponaza - Picota) hacia el valle del Ponaza a través de carretera afirmada, continuando por carretera asfaltada hacia Shamboyacu y empalmarse con el inicio del tramo en el centro poblado Miraflores.

Tramo: EMP. SM-108 (Localidad de Miraflores – Alto Ponaza)

Altitud

Cota de inicio : 279.00 m.s.n.m.

Cota de fin de tramo : 750.00 m.s.n.m.

Longitud

Longitud total del tramo: 20+200.00 km

4. DESCRIPCIÓN DE LA RUTA

El Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN, y tiene una longitud de 20 +200.00 km.

El eje de la vía existente en el tramo transcurre a través de un terreno con sectores ondulado y en su mayor parte accidentado.

El ancho promedio de la superficie de rodadura en el tramo es 3.98 m, encontrándose anchos que van desde 3.00 m hasta 4.50 m.

- Tramo: EMP. SM-108 (Miraflores – Alto Ponaza), terreno desde ondulado a accidentado, con pendientes mínimas de 0.90% y como máximo 12.00%.

5. CONDICIÓN ACTUAL DE LA VÍA

La plataforma presenta una superficie de rodadura que está a nivel de terreno natural en su totalidad. Presenta pendientes que varían de 0.90% a 12%, considerándose zonas onduladas y zonas accidentadas con tramos que presentan ahuellamiento y erosión (consideradas como críticas), lo cual dificulta la transitabilidad de la vía.

Durante los trabajos de campo realizados en el Tramo: SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN (Km 20+200), las condiciones encontradas en la plataforma son las que se van a describir a continuación, y mostrando las respectivas vistas fotográficas.

A continuación, se presentará la descripción detallada de la superficie de rodadura segmentada por progresivas, en la cual se describirá las fallas encontradas:

TRAMO: SANTO TOMÁS – SECTOR SELVA ALEGRE

PROGRESIVA	DESCRIPCION
00+000.00 – 01+000.00	La plataforma en este tramo presenta capa mínima de afirmado, se observa ahuellamiento y erosión
01+000.00 – 02+000.00	La plataforma en este tramo está deteriorada con presencia de huellas profundas.
02+000.00 – 03+000.00	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, intransitable en época de lluvias, con erosión y ahuellamiento
03+000.00 – 04+000.00	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, intransitable en época de lluvias, con erosión y ahuellamiento
04+000.00 – 05+000.00	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión e intransitable en época de lluvias.

05+000.00 06+000.00	-	La plataforma en este tramo está deteriorada con presencia de erosión y ahuellamiento.
06+000.00 07+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión e intransitable en época de lluvias,
07+000.00 08+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión, ahuellamiento e intransitable en época de lluvia.
08+000.00 09+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión, ahuellamiento e intransitable en época de lluvia.
09+000.00 10+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión, ahuellamiento e intransitable en época de lluvia.
10+000.00 – 11.000.00		La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión, ahuellamiento e intransitable en época de lluvia.
11.000.00 – 12+000.00		La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión, ahuellamiento e intransitable en época de lluvia.
12+000.00 13+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión, ahuellamiento e intransitable en época de lluvia.
13+000.00 14+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión e intransitable en época de lluvia.
14+000.00 15+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión e intransitable en época de lluvia.

15+000.00 16+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión e intransitable en época de lluvia.
16+000.00 17+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión e intransitable en época de lluvia.
17+000.00 18+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión e intransitable en época de lluvia.
18+000.00 19+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión e intransitable en época de lluvia.
19+000.00 20+000.00	-	La plataforma en este tramo no presenta capa de afirmado, con erosión e intransitable en época de lluvia.

6. ÚLTIMAS INTERVENCIONES

El Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN no ha sido intervenido con anterioridad.

7. DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO

El servicio para la ejecución del Mantenimiento Periódico y Rutinario del Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN, tiene por finalidad lograr el objetivo planteado, ejecutando las siguientes actividades:

- Informe Topográfico
- Informe de Suelos
- Informe de Canteras y Fuentes de Agua
- Informe de Señalización

- Informe de Drenaje
- Informe de Pavimentos
- Informe de Zonas Críticas

De los informes descritos, se ha determinado realizar las siguientes actividades:

RESUMEN DE METRADOS			
ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO TOTAL
01	OBRAS PRELIMINARES		
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	glb	1.00
01.02	TRAZO Y REPLANTEO	Km	20.00
02	PAVIMENTOS		
02.01	CAPA NIVELANTE E=0.05 M	m ³	4,120.01
02.02	MATERIAL GRANULAR DE CANTERA PARA AFIRMADO E=(0.10 M - 0.15 M)	m ³	12,360.00
03	TRANSPORTE		
03.01	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR HASTA 1 KM	m ³ - km	16,480.01
03.02	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR MAYOR A 1 KM	m ³ - km	157,301.70
03.03	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE HASTA 1 KM	m ³ - km	8,000.00
03.03	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE MAYOR A 1 KM	m ³ - km	47,240.00
04	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE		
04.01	RECONFORMACIÓN DE CUNETAS	m	40,000.00
05	SEÑALIZACION		
05.01	INSTALACIÓN DE POSTE DE KILOMETRAJE	und	20.00
05.02	SEÑALES PREVENTIVAS	und	4.00
05.03	SEÑALES REGLAMENTARIAS	und	1.00
05.04	SEÑALES INFORMATIVAS	und	2.00
06	IMPACTO AMBIENTAL		
06.01	RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE AREAS OCUPADAS	ha	2.00
07	EMERGENCIA SANITARIA		
07.01	EMERGENCIA SANITARIA COVID 19	glb	1.00

Cabe precisar, que solo se está interviniendo en la colocación del afirmado y capa nivelante, lo cual garantizará la transitabilidad del Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN de 20+200.km de longitud.

CAPA DE PAVIMENTO

1. La alternativa de solución planteada en el presente servicio es convencional, porque utiliza los materiales granulares gravosos de características físico-mecánicas considerados por las metodologías tradicionales como capas para carreteras no pavimentadas (afirmado).

2. Las características físico-mecánicas que debe cumplir los materiales seleccionados como: granulometría, límite líquido, índice de plasticidad, están establecidos en la sección de Informes de Canteras y Fuentes de Agua.
3. Los espesores por colocar para la capa de rodadura del Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN (Km 20+200), es:

Progresiva		Afirmado	Capa Nivelante
Inicio	Final	cm	cm
SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN			
00+000	20+200	15.00	5.00

4. El proceso constructivo se ejecutará con los métodos y equipos convencionales: Motoniveladora, camión cisterna, rodillo liso vibratorio, camión volquete; que están descritos en las especificaciones técnicas del servicio.
5. Las canteras seleccionadas son aquellas que presentan materiales cuya calidad y cantidad existente son adecuadas y suficientes para las labores de mantenimiento.
6. Para Relleno (Capa Nivelante), los materiales que cumplen especificaciones y están propuestos para su empleo, es el siguiente:
 - ✓ Cantera Río Ponaza ubicada a 650.00 metros del inicio del tramo, lado derecho.

7. Para la Capa de Rodadura, se empleará el material de la Cantera:
- ✓ Cantera Río Ponaza ubicada a 650.00 metros del inicio del tramo, lado derecho.
8. El principal objetivo del presente plan de trabajo es determinar las condiciones del mantenimiento de manera de devolver a la capa de rodadura las condiciones de la última rehabilitación.
9. Cabe mencionar que los puntos no contemplados en las Especificaciones del presente plan de servicio deben estar en concordancia con el Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras del MTC (EG - 2013).
10. La buena calidad y permanencia depende que se efectúe un Control permanente y oportuno de los parámetros de calidad de los materiales antes y durante la ejecución (proceso constructivo). Por lo tanto, deberán aplicar en forma estricta y adecuada las técnicas y procedimientos utilizados en Ingeniería para la explotación de Bancos de Materiales (Canteras), fundamentalmente teniendo siempre en consideración la variabilidad horizontal y vertical que presentan las mismas por su origen, así como el control permanente de las propiedades físico - mecánicas de los materiales de aporte en relación con los volúmenes explotados

8. DISPONIBILIDAD (CANTERA, FTE. DE AGUA)

Con relación a la disponibilidad de las canteras y fuentes de agua, la documentación se encuentra anexada en el presente capítulo, así mismo en los cuadros siguientes se muestra la ubicación de las Canteras y Fuentes de Agua.

CUADRO: “Relación de Canteras Ubicadas”

Cantera	Acceso (m).	Estado Acceso	Progresiva	Lado	Usos	Comentarios
01	Ubicada a 665.00 metros de la vía a intervenir	Terreno natural		Derecho	Rellenos, afirmado de vías	Cantera de río a usar al 100%

La fuente de agua a utilizar en los trabajos de reposición de afirmado está ubicada a 700.0 metros de la vía a intervenir.

Ambas fuentes son adecuadas para su empleo en la conformación de la capa del pavimento

CUADRO: “Fuente de Agua”

Cantera	Progresiva	Lado	Acceso (m)	Estado Acceso	Uso	Coordenadas UTM
1	Ubicada a 700.00 metros de la vía a intervenir	D		Regular	Riego de pavimento	N:9226205.000 E: 371312.000

9. MONTO DEL SERVICIO

El monto que involucra la ejecución del Mantenimiento Periódico y Rutinario del Camino Vecinal SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN (Km 20+200), es el siguiente:

**DETALLE DE LOS PRECIOS UNITARIOS DEL PRECIO
OFERTADO**

Ítem	Descripción	Unid.	Metrado	PU S/,	Parcial S/,
FASE I	Elaboración del Plan de Trabajo				S/14,447.11
1	Plan de Trabajo	KM	20.00	722.3555	S/14,447.11
FASE II	Ejecución del Mantenimiento Periódico				S/1'199,110.13
FASE III	Ejecución del Mantenimiento Rutinario				S/.216,706.65
1	Ejecución del Mantenimiento Rutinario (20 KM/MES)	MES	12.00	18,058.89	216,706.65
2	Inventario de Condición Vial	KM	20.00	722.3555	S/14,447.11

**COSTO TOTAL DE LA EJECUCION DEL
SERVICIO**

S/. 1'444,711.00

Son: Un millón cuatrocientos cuarenta y cuatro mil setecientos once con 00/100 soles.

10. PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo de ejecución del Mantenimiento Periódico de los Caminos Vecinales SM 804 ALTO PONAZA, MIRAFLORES, DISTRITO DE SHAMBOYACU, PICOTA – SAN MARTÍN (Km 20+200, es de 60 días calendario.