

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Influencia de la aplicación de estabilizadores químicos en el valor de CBR para capa de afirmado en carretera no pavimentada ruta CU-119, región Cusco

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Mary Luz Najarro Oscoco

Asesor:

Mg. Leonel Chahuares Paucar

Lima, octubre de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Leonel Chahuares Paucar, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE ESTABILIZADORES QUÍMICOS EN EL VALOR DE CBR PARA CAPA DE AFIRMADO EN CARRETERA NO PAVIMENTADA RUTA CU-119, REGIÓN CUSCO”** constituye la memoria que presentala Bach. Mary Luz Najarro Oscco, para aspirar al título profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 28 días del mes de octubre del año 2022.



Leonel Chahuares Paucar

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **28** día(s) del mes de **noviembre** del año 2022 siendo las **10:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Ing. Ferrer Canaza Rojas**, el secretario: **Ing. David Diaz Garamendi** y los demás miembros: **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** y el asesor **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Influencia de la aplicación de estabilizadores químicos en el valor de CBR para capa de afirmado en carretera no pavimentada ruta CU-119, región Cusco"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a)..... **MARY LUZ NAJARRO OSCCO**...
b)
conducente a la obtención del título profesional de
INGENIERO CIVIL.....
 con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **MARY LUZ NAJARRO OSCCO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	Muy Bueno

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Ing. Ferrer
 Canaza Rojas



 Secretario
 Ing. David Diaz
 Garamendi

 Asesor
 Mg. Leonel
 Chahuares Paucar

 Miembro
 Ing. Reymundo
 Jaulis Palomino

 Miembro



 Candidato/a (a)
 Mary Luz Najarro
 Oscoco

 Candidato/a (b)

M. Najarro.

DEDICATORIA

A mi madre Victoria Oscoco quien con su amor, paciencia y esfuerzo me permitió llegar a cumplir hoy una meta más en mi vida, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en cada uno de mis logros.

M. Najarro.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

A mi mamá y a mis hermanas(os), por contar con su apoyo de forma incondicional y darme consejos y palabras de aliento para alcanzar mis metas.

A mi asesor Ing. Leonel Chahuares Paucar que ha sido una guía y gran apoyo en el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, y no menos importante a mis amigos que me apoyaron en el desarrollo de mi proyecto de investigación impartiendo su conocimiento para lograr este sueño muy importante para mí.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES.....	2
3. METODOLOGÍA	2
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	3
4.1. Clasificación de suelos por SUCS y AASHTO.....	3
4.1.1. Propiedades físicas en estado natural	3
4.2. Comparación de valores de CBR en estado natural y estabilizado.....	4
4.2.1. Propiedades mecánicas de suelo en estado natural	4
4.2.2. Propiedades mecánicas de suelos estabilizados.....	4
4.3. Análisis de alternativas de Solución Básicas	6
4.3.1 Análisis técnico	6
4.3.2 Análisis económico	7
4.4. Influencia de los finos en los suelos estabilizados	8
5. CONCLUSIONES.....	8
REFERENCIA	9

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE ESTABILIZADORES QUÍMICOS EN EL VALOR DE CBR PARA CAPA DE AFIRMADO EN CARRETERA NO PAVIMENTADA RUTA CU-119, REGIÓN CUSCO

INFLUENCE OF THE APPLICATION OF CHEMICAL STABILIZERS ON THE CBR VALUE FOR A FIRMED LAYER ON UNPAVED ROAD ROUTE CU-119, CUSCO REGION

Mary Najarro-Oscco¹ 

¹ Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú

Recibido (Received): 01 / 06 / 2022 Aceptado (Accepted): 25 / 10 / 2022

RESUMEN

En el Perú las carreteras no pavimentadas en su mayoría están conformada de afirmado natural, estos presentan fallas superficiales y estructurales en menor tiempo de su vida útil debido a factores climáticos y tráfico pesado. Ante ello, se viene aplicando una solución básica en mantenimientos, consiste en uso de estabilizadores químicos para mejorar propiedades del pavimento de afirmado con mayor durabilidad. En la presente investigación se realizó análisis técnico y económico como alternativas de solución empleando estabilizadores Terrasil, Polycom, Megasoil y AggreBind en la estabilización de afirmado en la ruta CU-119. Los resultados muestran que las canteras estudiadas según clasificación SUCS son gravas - limosas y se caracterizan la consistencia como suelos no plásticos (IP= NP). Por otro lado, el uso de aditivos incrementó el valor de CBR significativamente, el estabilizador AggreBind generó mayor valor de CBR respecto a Polycom (alternativas sin adicionar cemento) y Terrasil generó mayor valor de CBR respecto a Megasoil (alternativas adicionando cemento). Además, todos los aditivos cumplen técnicamente con CBR>100% y expansión < 0.5%, se determinó el aditivo más económico es Megasoil + 1.5% CE (53,6 soles/m³) en comparación de los demás aditivos evaluados. Finalmente, la influencia del incremento de valor de CBR en relación a contenido de finos menor a 15% (suelos de baja plasticidad o no plásticos) ocurre en mayor proporción. Se concluye, las cuatro alternativas mejoran las propiedades mecánicas, técnicamente pueden ser empleados como alternativas solución básica. Sin embargo, el aditivo Megasoil es adecuado económicamente para estabilizar el afirmado en la ruta CU-119.

Palabras Clave: Afirmado, solución básica, estabilizadores químicos y mejoramiento de CBR.

ABSTRACT

In Perú, most of the unpaved roads are made up of natural pavement, these present superficial and structural failures in less time of their useful life due to climatic factors and heavy traffic. Given this, a basic maintenance solution has been applied, consisting of the use of chemical stabilizers to improve the properties of the pavement with greater durability. In the present investigation, a technical and economic analysis was carried out as solution alternatives using stabilizers Terrasil, Polycom, Megasoil and AggreBind in the stabilization of the pavement on the CU-119 route. The results show that the quarries studied according to the SUCS classification are gravel - silty and the consistency is characterized as non-plastic soils (IP = NP). On the other hand, the use of additives increased the CBR value significantly, AggreBind stabilizer generated a higher CBR value compared to Polycom (alternatives without adding cement) and Terrasil generated a higher CBR value compared to Megasoil (alternatives adding cement). In addition, all additives technically comply with CBR>100% and expansion <0.5% the most economical additive was determined to be Megasoil (S/.53.6 per m³) compared to the other additives evaluated. Finally, the influence of the increase in the CBR value in relation to the content of fines less than 15% (low plasticity or non-plastic soils) occurs in greater proportion. It is concluded that the four alternatives improve the mechanical properties, technically they can be used as basic solution alternatives. However, the Megasoil additive is adequate economically to stabilize the pavement on the CU-119 road.

Keywords: Affirmed, basic solution, chemical stabilizers and improvement of CBR.

* Corresponding author.:

Email: marynajarro@upeu.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú existe un total de 175 589.3 km de red vial, de los cuales 4 510.5 Km (2.6%) comprende carreteras no pavimentadas que se encuentran administradas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC); carreteras departamentales no pavimentadas comprenden 23 688.6 Km (13.5%) y son administradas por los Gobiernos Regionales, y 11 781.0 Km (6.7%) caminos vecinales no pavimentadas a cargo de los Gobiernos locales. Entonces, las vías pavimentadas en total conforman 29 579.1 Km (16.8 %) en todo el país [1].

Debido a la demanda de las carreteras no pavimentadas, se surge la necesidad de que estas presenten un largo periodo de diseño con procesos de mantenimiento de bajo costo. Los problemas de superficie de rodadura e inestabilidad de los suelos para las vías no pavimentadas es un problema en la ingeniería vial, razón por la cual una solución básica es el uso de estabilizadores químicos en las capas de rodadura [2].

Estabilizar un suelo significa mejorar las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos [3]. En el ámbito de estabilizadores químicos existen muchos tipos y son reconocidos por sus nombres comerciales, tales como: AggreBind, Megasoil, Terrasil, Polycom, Proes, entre otros.

Para la aplicación de los estabilizadores químicos se debe cumplir los requerimientos que se establecen en las normas vigentes peruanas [4]. Existe una influencia entre las propiedades de los suelos y de los estabilizadores químicos, por lo cual la presente investigación se evaluó la influencia de la aplicación de estabilizadores químicos en el valor de CBR para capa de afirmado en carretera no pavimentada ruta CU-119, región Cusco.

2. ANTECEDENTES

En la actualidad, en el Perú existe normas viales que son usadas para mejorar la calidad de servicio y vida útil de las vías de transporte a nivel nacional. Existen las carreteras pavimentadas y no pavimentadas, esta última esta propensa a sufrir deterioros por efectos de tránsito y el clima, por ende, se debe brindar un mejoramiento. El mejoramiento está orientado en mejorar el periodo de diseño de 5 años (afirmado) a 10 años (solución básica). En los proyectos viales las carreteras no pavimentadas se constituyen por una capa de rodadura a nivel de afirmado. La capa de rodadura consiste en un material granular seleccionado que pueden ser obtenidos de forma natural o procesados, asimismo, el Manual de Carreteras EG-2013 brinda requerimientos establecidos en base a las características físicas, mecánicas y químicas. Por otro lado, la solución básica consiste en la aplicación de un estabilizador en la capa de rodadura el cual implica una

mayor inversión inicial, sin embargo, esto se revierte ya que sus actividades de mantenimiento son de bajos costos. En el Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas, también especifica los requerimientos que se necesita cumplir para la aplicación de una solución básica. [4].

Las carreteras no pavimentadas presentan deterioros por diversos factores, tales como: aumento imprevisto de índice medio diario de vehículos, aumento de precipitaciones en meses de verano, variaciones de temperaturas, ausencia de obras hidráulicas para el drenaje en las vías, entre otros [6]. La existencia de estabilizadores químicos permite mejorar el comportamiento mecánico y físico de la capa de rodadura, además generan una mejor rentabilidad económica. Los productos químicos: poliacrilamida aniónica (Polycom), organosilano (Terrasil) y un sulfonato (ISS 2500) generan en un suelo con matriz arcillosa el aumento en su característica mecánica de valor de CBR considerablemente [6].

La aplicación del aditivo químico Terrasil permite que un suelo fino o granular arcilloso-limoso presente ventajas de impermeabilidad, también al usarse en una subrasante permite que las capas de rodadura reducir su espesor [7]. Además, este aditivo presenta una mejora en la expansividad, ya que a mayor dosificación se obtiene una menor expansión [8].

Por otro lado, otro aditivo químico estabilizador es Megasoil (polímero cohesionador en polvo granular), el cual no solo incrementa el valor de CBR, sino también aumenta la plasticidad al aplicar más dosificaciones [9]. Sin embargo, en las especificaciones del estabilizador indica que uno de los efectos del aditivo es reducir la plasticidad [10].

El polímero acrílico de estireno reticulado (AggreBind), es aplicable en todos los tipos de suelo, el cual incrementa el valor de CBR de 4 a 6 veces de su valor natural. En su comportamiento estructural permite que sea muy resistente y flexible, teniendo una propiedad de enlace entre sus partículas que eliminan el riesgo de laminación o separación en su vida útil [11].

El polímero de tipo acrilamida (Polycom), es otro aditivo químico que permite obtener en una capa estabilizada un alto grado de densificación en su etapa de compactación y a su vez aumenta el módulo elástico en su etapa de secado. Su aplicación es para todos los tipos de suelos, ya sea en subrasantes, afirmados, bases o subbases granulares [12].

3. METODOLOGÍA

En la presente investigación se realizó la revisión de información bibliográfica con respecto a la caracterización de los suelos con fines de uso en capas de afirmado, asimismo el uso de aditivos químicos estabilizadores para mejorar la capacidad de soporte del CBR. Tras la revisión de los antecedentes, se realizó el análisis de caso práctico de resultados de la estabilización con aditivos químicos tales como Terrasil, Megasoil, AggreBind y Polycom en los suelos

granulares de canteras en la carretera no pavimentada ruta CU-119, región Cusco. Para ello, se realizó los ensayos de mecánica de suelos en estado natural y estabilizado como en análisis granulométrico, límites de consistencia (Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad), Proctor modificado (máxima densidad seca - MDS, óptimo contenido de humedad) y los valores de CBR al 95% y 100% de la MDS. Luego la caracterización física y mecánica mediante los resultados obtenidos en los ensayos.

La caracterización también consistió en la identificación del cumplimiento de los requerimientos de las normas vigentes, tales como el Manual de Construcción de Carreteras EG-2013 y Documento técnico soluciones básicas en carreteras no pavimentadas del MTC 2015 y el cómo también el impacto económico tras la aplicación de cada aditivo químico. Finalmente, se realizó análisis de comportamiento mecánico del CBR de los suelos en estado natural y estabilizado, considerando las especificaciones de los aditivos estabilizadores y la incidencia de las características granulométricas y Límites de Atterberg. En la tabla I, se muestra la ubicación de canteras evaluados en la ruta CU-119.

Tabla I

Resumen de ubicación de canteras seleccionados en la ruta CU-119

N°	Ubicación de canteras (ruta CU-119)	Canteras	Progresiva (Km)	Coordenadas UTM	
				Este (E)	Norte (S)
1	CU-1885 (Z19)	Cantera 1	001+367	813833	8395308
2	CU-1885 (Z19)	Cantera 2	000+000	813420	8396941
3	CU-119 (Z18)	Cantera 3	023+296	818553	8411367
4	CU-127 (Z19)	Cantera 4	000+007	819905	8415922
5	CU-119 (Z18)	Cantera 5	074+476	823133	8430440
6	CU-119 (Z18)	Cantera 6	081+304	179315	8433353
7	CU-119 (Z19)	Cantera 7	107+430	179887	8450267
8	CU-119 (Z19)	Cantera 8	110+124	179854	8451835
9	CU-119 (Z19)	Cantera 9	114+275	179428	8454547
10	CU-119 (Z19)	Cantera 10	120+910	177352	8459605
11	CU-119 (Z19)	Cantera 11	140+835	181488	8467334
12	CU-119 (Z19)	Cantera 12	150+084	182299	8468742
13	CU-119 (Z19)	Cantera 13	193+345	185539	8482917

Fuente: Elaboración propia.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En los siguientes ítems se presenta los resultados de los ensayos de suelos tanto en estado natural y estabilizado.

4.1. Clasificación de suelos por SUCS y AASHTO

4.1.1. Propiedades físicas en estado natural

A continuación, se muestra las características físicas de los suelos de canteras de la zona estudio. En la tabla II, se detalla resultados del ensayo de granulometría por tamizado donde se obtuvo proporciones de las gravas (suelo retenido en tamiz No. 4), arenas (suelo retenido entre tamices No. 4 y No. 200) y finos (suelo pasante tamiz No. 200) [13]. Por otro lado, se determinó los valores de Índice de Plasticidad (IP) para conocer la consistencia del suelo en estado líquido, plástico y semisólido [14]. Finalizando, con la nomenclatura abreviada de la clasificación de suelos por los sistemas SUCS y AASHTO [15], [16].

Tabla II

Resumen de propiedades físicas de canteras evaluadas

cantera	Granulometría			Límites Atterberg	Clasificación	
	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	IP	SUCS	AASHTO
Cantera 1	42,2	38,5	19,3	NP	GM	A-1-b (o)
Cantera 2	45,9	51	3,1	NP	SP	A-1-a (o)
Cantera 3	50,6	35,3	14,1	4	GC - GM	A-1-a (o)
Cantera 4	56,8	31,1	12,1	NP	GM	A-1-a (o)
Cantera 5	65	26,2	8,8	NP	GP - GM	A-1-a (o)
Cantera 6	39,2	36,2	24,6	NP	GM	A-1-b (o)
Cantera 7	44,7	44,4	10,9	NP	GP - GM	A-1-b (o)
Cantera 8	17,1	51,9	31	NP	SM	A-2-4 (o)
Cantera 9	42,7	26,2	31,1	6	GC - GM	A-2-4 (o)
Cantera 10	48,5	37,7	13,8	NP	GM	A-1-a (o)
Cantera 11	71,3	22,1	6,6	NP	GP - GM	A-1-a (o)
Cantera 12	71,2	27,9	0,9	NP	GP	A-1-a (o)
Cantera 13	41,7	20,6	37,7	NP	GM	A-4 (o)

Fuente: Elaboración propia.

Las canteras evaluadas, el 39% son gravas limosas GM, el 8% son arena mal graduada SP, el 15% son gravas arcillosas con limos GC- GM, el 23% son gravas mal graduadas con limos GP-GM, el 8% son arenas limosas SM y el 8% son gravas mal graduadas GP. De lo anterior, se aprecia que el suelo predominante es la grava seguido por la arena con matriz de finos que corresponden a limos y arcillas. Generalmente, las capas de rodadura (afirmado) están constituido por materiales compuestos principalmente por agregados, las cuales generan la resistencia mecánica a la estructura de un pavimento.

4.1.1.1. Curvas granulométricas para la capa de rodadura

En el Manual de carreteras EG-2013, se presenta las características granulométricas para las consideraciones de uso de un afirmado en la capa de rodadura [5]. Estas características son representadas en curvas granulométricas, las cuales constituyen desde suelos gravosos hasta suelos arenosos con incidencia de finos. Los finos (limos y arcillas) dan la cohesión al suelo, a su vez son los que pueden generar la baja capacidad de resistencia.

Seguidamente, se presenta los resultados obtenidos del ensayo granulométrico según NTP 339.128 en las figuras 1, 2 y 3 (curvas granulométricas de las canteras de estudio).

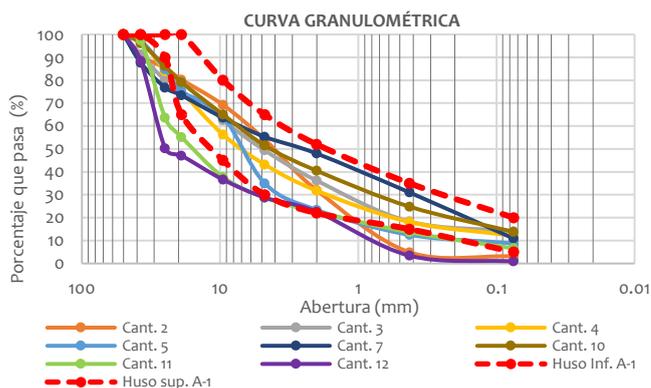


Figura 1: Huso granulométrico canteras con gradación A-1.
Fuente: Elaboración propia

La cantera 2, 5, 11, 3, 7, 12, 4 y 10 se observa que se encuentran cercanos y dentro de los límites de las gradaciones granulométricas del afirmado establecidos por la EG- 2013(Gradación A-1).

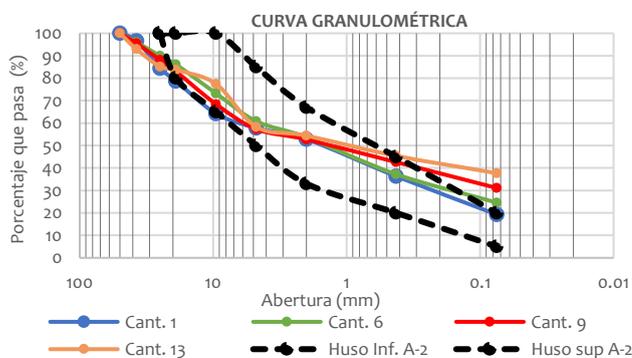


Figura 2: Huso granulométrico canteras con gradación A-2
Fuente: Elaboración propia

La cantera 1 relativamente está dentro de límite de la gradación (Gradación A-2), esta especificación corresponde a los parámetros del afirmado establecidos en EG - 2013. Por otro lado, las canteras 6, 9 y 13 presentan una excedencia de finos en un rango de 4.6% a 17.7% más de lo permitido.

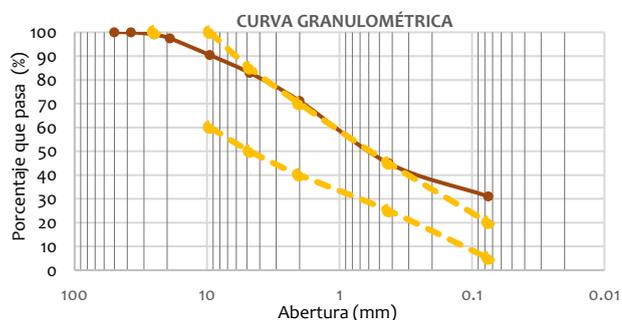


Figura 3: Huso granulométrico canteras con gradación D.
Fuente: Elaboración propia

La cantera 8 relativamente está dentro de límite de la gradación granulométrica del afirmado establecidos por la EG - 2013 (Gradación D). Sin embargo, presenta una excedencia de finos de 11%.

Las curvas granulométricas de los suelos de cantera no se encuentran en su totalidad dentro de Huso granulométricas, pero no es limitante para que sean usadas como capa de rodadura. Los suelos de canteras pueden ser usados como suelos estabilizados, ya que la principal característica es la resistencia mecánica de la capacidad de soporte de CBR, siendo esto un requerimiento según el Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas.

4.2. Comparación de valores de CBR en estado natural y estabilizado

4.2.1. Propiedades mecánicas de suelo en estado natural

En la tabla III, se presenta las propiedades mecánicas de las muestras de suelos ensayados en estado natural. Se aplicó el ensayo de Proctor Modificado método C (MTC E - 115) y CBR (MTC E 132), de acuerdo a resultados de la granulometría son muestras de suelos con presencia de gravas y arenas en su mayor porcentaje.

Tabla III

Resultados ensayos de canteras en su estado natural.

Canteras	Estado Natural			
	Proctor		CBR	
	OCH (%)	MDS (g/cm ³)	95% MDS	100% MDS
Cantera 1	7,1	2,050	43,1	51,8
Cantera 2	11,1	1,968	32,5	38,4
Cantera 3	9,5	2,046	38,4	51,3
Cantera 4	7,30	2,136	46,1	62,0
Cantera 5	6,8	2,166	55,9	66,5
Cantera 6	10,7	2,000	31,9	42,4
Cantera 7	7,30	2,155	46,2	60,3
Cantera 8	10,0	1,830	24,6	30,1
Cantera 9	12,2	1,952	36,5	47,1
Cantera 10	10,0	2,027	52,0	63,5
Cantera 11	6,8	2,162	56,5	70,6
Cantera 12	5,4	2,169	51,6	67,6
Cantera 13	10,7	2,024	22,3	32,6

Fuente: Elaboración propia.

EL 77% de los suelos de canteras evaluadas cumplen con el valor de CBR mínimo de 40% para capa de rodadura a nivel afirmado y el 23% no cumple [5].

4.2.2. Propiedades mecánicas de suelos estabilizados

Los suelos en este caso fueron estabilizados para la aplicación de una solución básica (mejoramiento de propiedades mecánicas en estado natural) para ello se determinó el valor de CBR del suelo en estado estabilizado con productos químicos y cemento Portland Tipo I.

4.2.2.1. Estabilizadores químicos sin adición de cemento

En el caso de los suelos estabilizados sin cemento se aplicaron los estabilizadores Polycom y AggreBind, en la Tabla IV se presenta los resultados obtenidos.

Tabla IV
Resultados de ensayo de CBR estabilizado con Polycom y AggreBind

Cantera	Estado Estabilizado					
	Polycom 0.03 kg/m ³			AggreBind 4 Lt/m ³		
	CBR		100% MDS (Δ%)	CBR		100% MDS (Δ%)
	95% MDS	100% MDS		95% MDS	100% MDS	
Cantera 1	100,7	121,9	136	104	142,0	174
Cantera 3	95,2	117,7	129	98,8	125,2	144
Cantera 5	100,1	122,7	85	95,5	123,7	86
Cantera 6	92,8	124,5	194	92,2	120,6	184
Cantera 9	89,5	105,6	124	88	102,5	118
Cantera 10	90,9	105,8	67	95,2	118	86
Cantera 11	104,6	133	88	93,5	116,7	65
Cantera 12	95,5	121,7	80	109,3	126,4	87

Fuente: Elaboración propia.

En los suelos de cantera estabilizados con aditivo químico Polycom el CBR incrementó hasta 194% más de su valor natural y estabilizado con el aditivo AggreBind se incrementó hasta 184% más de su valor natural. En la figura 4 se presenta gráficamente la variación del incremento de CBR estabilizado respecto al estado natural.

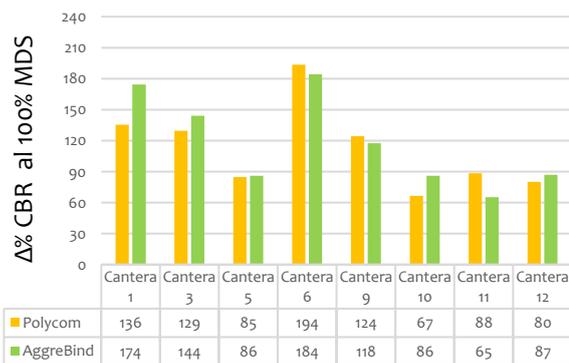


Figura 4: Influencia de CBR utilizando estabilizadores Polycom y AggreBind. Fuente: Elaboración propia.

Técnicamente el aditivo Polycom y AggreBind tienen influencias similares en el mejoramiento de la capacidad soporte del suelo (CBR), incrementaron significativamente el CBR respecto a su valor en estado natural. Sin embargo, por ciertos valores diferenciados en algunas canteras evaluados el estabilizador que mejor se comporta es AggreBind en la ruta Cu-119.

4.2.2.2. Estabilizadores químicos con adición de cemento

En el caso de los suelos estabilizados con aditivos Terrasil y Megasoil más adicionando cemento Portland Tipo I se añadió porcentajes de 1%, 1.5% y 2% respecto a su peso seco de la muestra de suelo. En la Tabla V, Tabla VI y Tabla VII se presenta los resultados obtenidos.

Tabla V
Resultados de ensayo de CBR estabilizado con Terrasil y Megasoil más 1% cemento.

Cantera	Estado Estabilizado					
	Terrasil 0.75 Lt/m ³ + 1% cemento P TI			Megasoil 0.02 kg/m ³ + 1% cemento P TI		
	CBR		100% MDS (Δ%)	CBR		100% MDS (Δ%)
	95% MDS	100% MDS		95% MDS	100% MDS	
Cantera 1	97,6	128,6	148	101,6	129	149
Cantera 12	97,4	120,4	78	101,8	121,9	80

Fuente: Elaboración propia.

Los suelos estabilizados con los aditivos químicos Terrasil + 1% cemento y Megasoil + 1% cemento presentan incremento significativamente de CBR. En el caso del aditivo Terrasil + 1% cemento incrementó hasta 148% más de su valor natural y el aditivo Megasoil + 1% cemento incrementó hasta 149% más de su valor natural. En la figura 5 se presenta gráficamente la variación del incremento de CBR estabilizado respecto al estado natural.

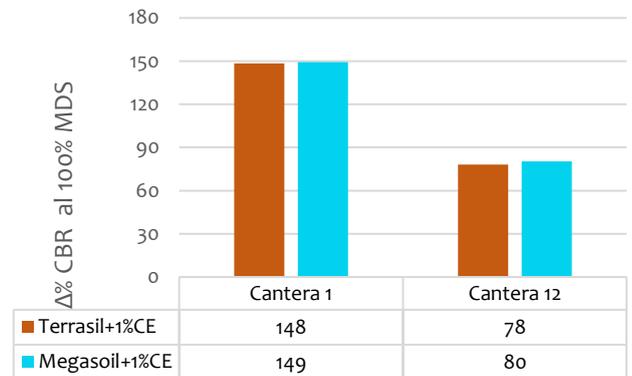


Figura 5: Influencia de CBR utilizando estabilizadores Terrasil y Megasoil más 1% de cemento (CE). Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la tabla VI se resume los resultados de ensayo de CBR estabilizado con Terrasil y Megasoil más 1.5% cemento.

Tabla VI
Resultados de ensayo de CBR estabilizado con Terrasil y Megasoil más 1.5% cemento.

Cantera	Estado Estabilizado					
	Terrasil 0.75 Lt/m ³ + 1.5% cemento P TI			Megasoil 0.02 kg/m ³ + 1.5% cemento P TI		
	CBR		100% MDS (Δ%)	CBR		100% MDS (Δ%)
95% MDS	100% MDS	95% MDS		100% MDS		
Cantera 3	98,3	125,4	144	84,0	106,2	107
Cantera 4	85,0	112,7	82	95,5	113,6	83
Cantera 5	107,6	131,6	98	96,7	121,4	83
Cantera 7	100,9	126,4	109	103,7	122,7	103
Cantera 9	83,2	102,1	117	91,6	108,1	130
Cantera 10	83,4	105,5	66	82,6	109,6	73
Cantera 11	85,8	114,8	63	100,4	125,2	77

Fuente: Elaboración propia.

En los suelos de cantera estabilizados con aditivo químico Terrasil + 1.5% cemento el CBR incrementó hasta 144% más de su valor natural y estabilizado con el aditivo Megasoil + 1.5% cemento incrementó hasta 130% más de su valor natural. En la figura 6 se presenta gráficamente la variación del incremento de CBR estabilizado respecto al estado natural.

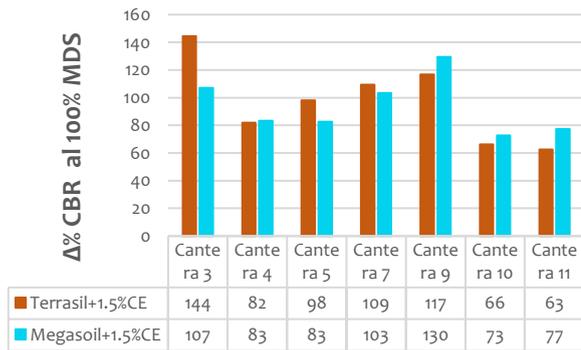


Figura 6: Influencia de CBR utilizando estabilizadores Terrasil y Megasoil más 1.5% de cemento (CE).

Por otro lado, en la tabla VII se resume los resultados de ensayo de CBR estabilizado con Terrasil y Megasoil más 2% cemento.

Tabla VII
Resultados de ensayo de CBR estabilizado con Terrasil y Megasoil más 2% cemento.

Cantera	Estado Estabilizado					
	Terrasil 0.75 Lt/m ³ + 2% cemento P TI			Megasoil 0.02 kg/m ³ + 2% cemento P TI		
	CBR		100% MDS (Δ%)	CBR		100% MDS (Δ%)
95% MDS	100% MDS	95% MDS		100% MDS		
Cantera 2	106,4	116,4	203	90,8	110,2	187
Cantera 8	106,8	116,6	287	81,5	100,9	235
Cantera 13	104,2	118,7	264	101,5	125,3	285

Fuente: Elaboración propia.

En los suelos de cantera estabilizados con aditivo químico Terrasil + 2% cemento el CBR incrementó hasta 287% más de su valor natural y estabilizado con el aditivo Megasoil + 2% cemento incrementó hasta 285% más de su valor natural. En la figura 7 se presenta gráficamente la variación del incremento de CBR estabilizado respecto al estado natural.

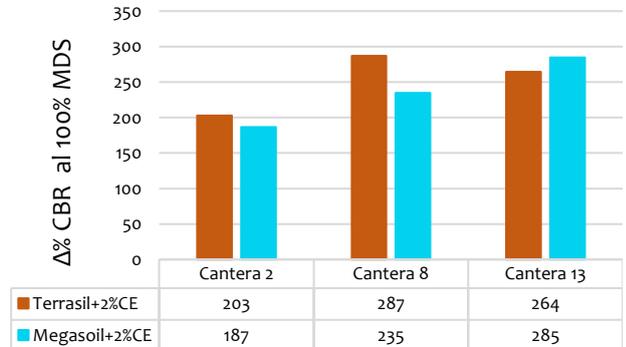


Figura 7: Influencia de CBR utilizando estabilizadores Terrasil y Megasoil más 2% cemento (CE).

Cada suelo presenta su propia distribución de tamaños de partículas y su composición química que reaccionan con un agente químico externo, esto se comprueba con el incremento significativo de su capacidad de soporte.

Técnicamente el aditivo Terrasil y Megasoil tienen influencias similares en el mejoramiento de la capacidad soporte del suelo (CBR). Sin embargo, por ciertos valores diferenciados en algunas canteras evaluados el estabilizador adicionando cemento de 1%, 1.5% y 2% mejor se comporta es Terrasil en la ruta Cu-119.

4.3. Análisis de alternativas de Solución Básicas

Con la finalidad de determinar la alternativa adecuada de solución básica para la ruta Cu-119 se realizó el análisis Técnico y económico.

4.3.1 Análisis técnico

El requerimiento técnico mínimo consiste en obtener CBR min 100% y la expansión < 0.5% para que pueda ser usado como capa de rodadura. En la figura 8 y 9 se observa los resultados de CBR estabilizado [4] superan el 100%. Por lo tanto, las alternativas evaluadas cumplen técnicamente.

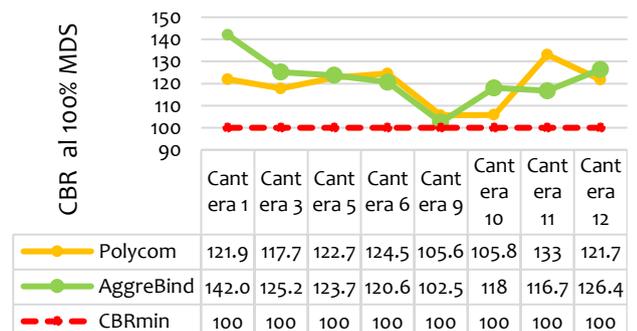


Figura 8: CBR usando estabilizadores Polycom AggreBind. Fuente: Elaboración propia.

En base a los gráficos de valores de CBR en figura 8 y 9, el aditivo AggreBind relativamente aporta mayor capacidad portante de los suelos de canteras evaluadas. Por otro lado, las alternativas evaluadas adicionando cemento Portland Tipo I en el caso del aditivo Terrasil otorga mayor capacidad portante en comparación a aditivo Megasoil.

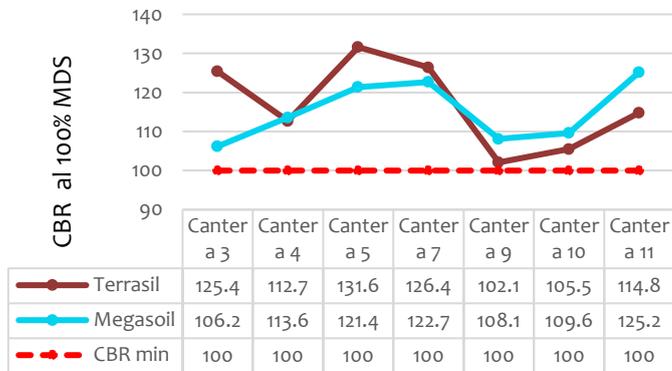


Figura 9: CBR usando estabilizadores Terrasil y Megasoil + 1.5 cemento. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados, técnicamente todos cumplen con los requerimientos mínimos establecidos en Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas (MTC,2015).

4.3.2 Análisis económico

En la presente investigación se evaluó 4.0 alternativas usando estabilizadores químicos que funcionan por sí solas o adicionando cemento. En la tabla VIII se muestra los resultados de la dosificación óptima del diseño de materiales por cada metro cúbico de suelo.

Tabla VIII

Resumen de dosificaciones de alternativas de solución básica

Dosis óptima de materiales	
Aditivos Químicos	
Polycom	0.03 kg/m ³
AggreBind	4.00 Lt/m ³
Aditivos Químicos + CE TI	
Terrasil + 1.5% CE	0.75 Lt/m ³ + 30.75 Kg/m ³
Megasoil+1.5% CE	0.02 kg/m ³ + 30.75 Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de conocer cuál es la cantidad adecuada en su aplicación y conocer la alternativa más económico, se realizó el análisis de costo unitario de cada uno.

Primeramente, se solicitó el precio unitario y rendimiento de trabajo de estabilización de capa de afirmado de los aditivos a las empresas distribuidoras en el Perú. Asimismo, el rendimiento de avance en m³/día se verificó con las experiencias adquiridas en obras ejecutados en el Perú y los valores difieren por cada aditivo debido al proceso constructivo que optan diferente cada solución. En la tabla IX

se detalla lo mencionado.

Tabla IX

Resumen de precios unitarios y rendimiento de los aditivos

Aditivos	Und	Cantidad	P. unitario (S/.)	Rendimiento (m ³ /día)
Polycom	Kg	1.0	1750.00	500.00
AggreBind	L	1.0	46.88	480.00
Terrasil	L	1.0	60.00	350.00
Megasoil	Kg	1.0	220.00	300.00
Ce Portland tipo I	bls	1	24.00	-

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla X se presenta el Análisis de Costo Unitario de estabilizador Polycom. De la misma forma se realizó para estabilizador AggreBind considerando el rendimiento 480 m³/día, precio unitario (ver tabla IX) y en sección de materiales se colocó la cantidad de la dosificación óptima del estabilizador (ver tabla VIII).

Por otro lado, en caso de los estabilizadores Terrasil y Megasoil que requieren de la adición del cemento se realizó considerando el rendimiento, precio unitario detallado en la tabla IX. También, en sección de materiales se colocó la cantidad de la dosificación óptima de cada estabilizador y el cemento (ver tabla VIII). Finalmente, se resume los resultados en figura 10 los costos unitarios determinados de cada alternativa.

Tabla X

Análisis de costo unitario de aditivo Polycom

Partida	CAPA DE AFIRMADO ESTABILIZADO				Costo unitario: 78,64 m ³
	01,01	E=15 Cm			
Rendimiento m ³ /DIA	MO.	500	EQ.	500	
Descripción Recurso	Unidad	Cuad.	Cant.	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0,20	0,0032	24,50	0,08
PEON	hh	4,00	0,0640	16,68	1,07
					1,15
Materiales					
ESTABILIZADOR QUIMICO (POLYCOM)	kg		0,0300	1750,00	52,50
					52,50
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3%	1,15	0,03
RODILLO LISO VIBR AUTOP 101-135 HP 10-12T	hm	1,00	0,0160	189,44	3,03
MOTONIVELADORA 145 - 170 HP	hm	1,00	0,0160	270,00	4,32
					7,39
Subpartidas					
AGUA PARA ESTABILIZADO	m ³		0,1260	19,58	2,47
MATERIAL DE AFIRMADO PARA ESTABILIZADO	m ³		1,2000	12,62	15,14
					17,61

Fuente: Elaboración propia.

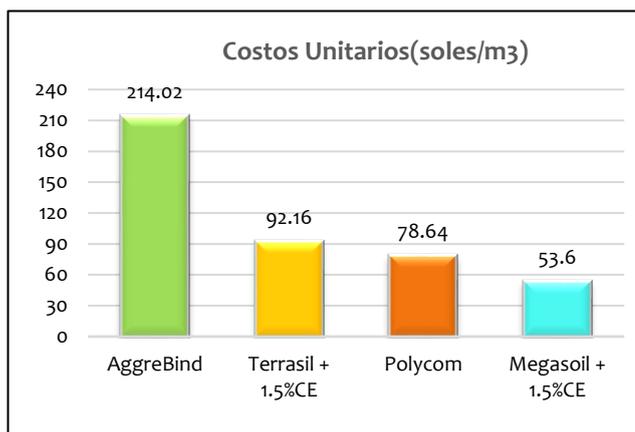


Figura 10: Resumen de Costos unitarios de los estabilizadores. Fuente: elaboración propia

Se concluye, todos los aditivos técnicamente son favorables su aplicación como solución básica. Sin embargo, el aditivo Megasoil + 1.5 % de cemento es la alternativa más económico, es decir, su uso es adecuado en la ruta CU-119. Por otro lado, el aditivo AggreBind resulta más costoso.

4.4. Influencia de los finos en los suelos estabilizados

Los estabilizadores químicos mejoran las propiedades físicas y mecánicas del afirmado para que el pavimento sea durable en el tiempo logrando reducir costos y extender el periodo de mantenimiento Periódico. Las alternativas de aditivos ensayados según sus especificaciones son aplicables a todo tipo de suelo, es decir, uso en suelos con plasticidad y no plásticos. por otro lado, los estabilizadores empleados impermeabilizan, estabilizan las arcillas que son materiales inestables, reducen y eliminan la expansión generando cohesión entre las partículas del suelo y aumentar el valor de la capacidad portante del suelo para pavimentos (CBR). en la figura 11 y 12 se evaluó el comportamiento del CBR estabilizado de los suelos según el contenido de finos.

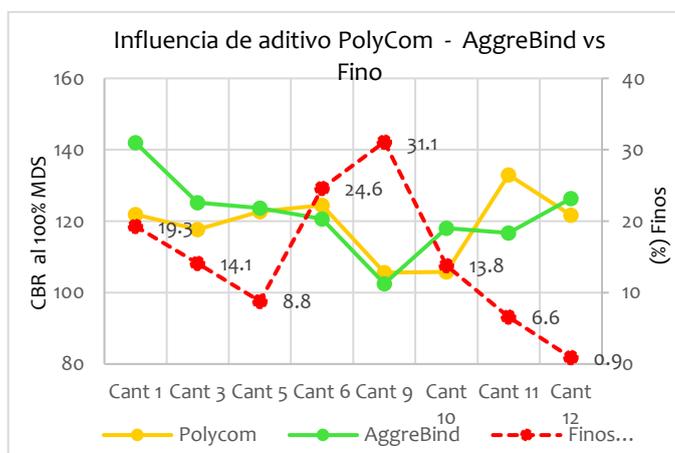


Figura 11: Influencia de finos en la estabilización con Polycom y AggreBind. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12 el contenido de finos tiene incidencia en el comportamiento de incremento de valor de CBR aplicando ambos aditivos en la ruta CU-119. Como se muestra en las

cancheras 3, 5, 11, 10 y 12 se tiene finos entre 0.9%, al 14.1% (menor valores de finos) y el valor de CBR se incrementa en mayor proporción. Por el contrario, en las cancheras 1, 8 y 9 el contenido de finos varía entre 19.3 % a 31.1.%, se observa el valor de CBR tienden a incrementarse en menor proporción.

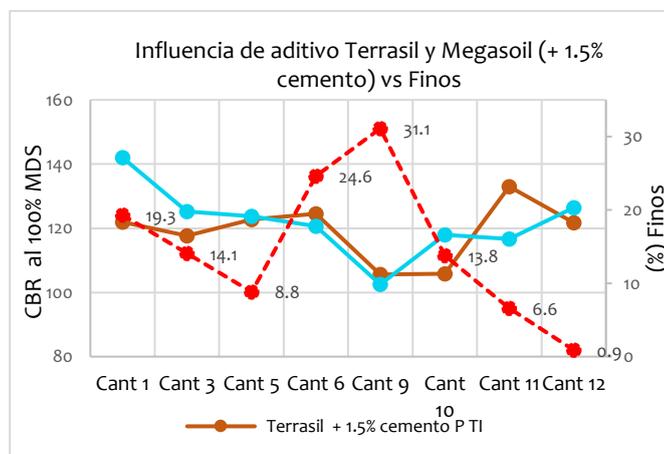


Figura 12: Influencia de finos en la estabilización con Terrasil - Megasoil (+ 1% cemento). Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12 el contenido de finos tiene incidencia en el comportamiento de incremento de valor de CBR aplicando ambos aditivos en la ruta CU-119. Como se muestra en las cancheras 4,5,7 y 11 se tiene finos entre 6,6% al 12.1% (menor valores de finos) y el valor de CBR se incrementa en mayor proporción. Por el contrario, en las cancheras 3,9 y 10 el contenido de finos varía entre 13.8 % a 31.1.%, se observa el valor de CBR tienden a incrementarse en menor proporción.

Se concluye, que la estructura de pavimento estabilizado será estable y durable en el tiempo de acuerdo a los materiales, insumos aprobados y el cumplimiento adecuado del proceso constructivo que exige cada alternativa de solución. Finalmente, en relación a contenido de finos se debe controlar su exceso para ello se debe realizar el control de ensayos que exige la norma EG-2013. De acuerdo al estudio realizado en la ruta CU-119, en la gradación de las cancheras evaluados se recomienda el contenido de finos menor al 15%. Por último, los aditivos Polycom, Terrasil, Megasoil, AggreBind tienen mayor influencia del mejoramiento de CBR en suelos granulares (suelos con baja plasticidad o no plástico).

5. CONCLUSIONES

En el presente estudio las cancheras evaluadas, las curvas granulométricas se encuentran dentro de los límites de husos granulométricos (gradación A-1, gradación A-2 y gradación D) los cuales están establecidos en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013). Sin embargo, no es indispensable el cumplimiento de una gradación para la aplicación de una Solución Básica en carreteras no pavimentadas.

Técnicamente los aditivos Polycom, Terrasil+ 1.5 % de cemento, Megasoil + 1.5 % de cemento y AggreBind presentan influencias similares en el mejoramiento de la capacidad soporte del suelo (CBR). Sin embargo, por resultados obtenidos de

algunas canteras técnicamente el Agredid genera mayor incremento de CBR (alternativa sin adición de cemento) .En caso de aditivos que usan adición de cemento, el mejor resultado se obtuvo con aditivo Terrasil + 1.5% CE para la ruta Cu-119. En resumen, los estabilizadores con aditivo químico Terrasil + 1.5% cemento el CBR incrementó de 63% al 144% más de su valor natural, aditivo Megasoil + 1.5% cemento incrementó de 73% al 130% más de su valor natural. El aditivo Polycom incrementó de 67% al 194% más de su valor natural y el aditivo AggreBind incrementó de 65% al 184% más de su valor natural. En la figura 6 se presenta gráficamente la variación del incremento de CBR estabilizado respecto al natural.

Las alternativas de Solución Básica evaluados usando los estabilizadores químicos Polycom, Terrasil, Megasoil y AggreBind cumplen técnicamente con el CBR mínimo 100% y expansión menor a 0.5%. Además, mediante el análisis económico se determinó que los costos unitarios son: Megasoil + 1.5 % de cemento (53,6 soles/m³), Polycom (78.64 soles/m³), Terrasil + 1.5% de cemento (92.16 soles/m³) y AggreBind (214.02 soles/m³) en la aplicación de la ruta CU-119. En síntesis, la alternativa usando Megasoil + 1.5% de cemento es más económica y el más costoso es AggreBind.

Finalmente, la influencia del uso de los estabilizadores Megasoil + 1.5 % de cemento, Polycom, Terrasil + 1.5% de cemento y AggreBind se incrementó los valores de CBR en mayor proporción cuando el contenido de finos es menor a 15 %, mientras que a mayor contenido de finos el incremento de CBR se obtiene en menor proporción en la ruta CU-119. Por último, los aditivos Polycom, Terrasil, Megasoil, AggreBind presentan una significativa influencia del mejoramiento de CBR en suelos granulares (suelos con baja plasticidad o no plástico).

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a Dios, que me ha permitido logro mis objetivos en mi vida profesional con su gracia y bendición.

Agradecer a mi madre Victoria Oscco Guillen, este logro es para ella, por todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida profesional y personal.

Agradecer a mis amigos por su apoyo incondicional en esta etapa de elaboración de mi proyecto. Agradecer a mis profesores, por el conocimiento y experiencia brindados a lo largo de la vida universitaria.

REFERENCIA

- [1] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Red Vial Existente del Sistema Nacional de Carreteras, según Superficie de Rodadura 1990-2021,” *Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial*, Oct25,2021.
<https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial> (accessed jul. 10, 2022).
- [2] K. Sáenz, “Incidencia de productos químicos en la estabilización de suelos en la carretera no pavimentada Chasquitambo - Llama, Bolognesi, 2019,” Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz-Perú, 2021.
- [3] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos,” Lima, Feb. 2013.
- [4] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas,” Lima, Feb. 2015.
- [5] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-213,” Lima, Aug. 2013.
- [6] S. Villanueva, “Propuesta de estabilización de carreteras de bajo volumen de tránsito en la sierra, sobre los 2000 m.n.s.m., utilizando poliacrilamida aniónica, organosilano y un sulfonatado,” Universidad Ricardo Palma, Lima, 2017.
- [7] D. Rodríguez, “Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (Terrasil), de la vía ecológica del Cantón Quevedo, provincia de los Ríos,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2016.
- [8] E. Martínez, “Estabilización de suelos cohesivos con aditivo organosilanos a nivel de subrasante,” Universidad Peruana Los Andes, Huancayo-Perú, 2019.
- [9] J. Salazar, “Influencia de la adición del polímero Megasoil en los porcentajes de 2%, 4%, 6%, en el CBR del material de cantera para afirmados,” Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú, 2019.
- [10] Bitúmenes del Perú S.A.C., “Especificaciones técnicas Megasoil,” Lima, 2022.
- [11] Age Ecovias Perú SAC, “Aggrebind Especificaciones Técnicas,” Lima.
- [12] E. Montesinos, “PolyCom una nueva alternativa,” *Austlatin Perú*, Lima, pp. 1–2.
- [13] INACAL, “Método de ensayo para el análisis granulométrico NTP 339.128 1999 (revisada el 2019),” 2019
- [14] INACAL, “Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos NTP 339.129 1999 (revisada el 2019),” 2019
- [15] INACAL, “Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte NTP 339.135 1999 (revisada el 2019),” 2019
- [16] INACAL, “Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS) NTP 339.134 1999 (revisada el 2019),” 2019.