

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**NIVEL DE MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE LA BASE DEL PAVIMENTO ESTABILIZADO
CON CEMENTO PORTLAND Y EMULSIÓN ASFÁLTICA**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

Bach. ASENCIOS SÁNCHEZ, MARJORIE FABIOLA

Bach. IZARRA JUSCAMAITA, YURI

ASESOR: MSc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NÉSTOR WILFREDO

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, abuelos, hermanos, tíos y sobrina que con su apoyo incondicional me dieron la fuerza durante cada etapa de mi carrera profesional.

Marjorie Fabiola Asencios Sánchez

A mis padres quienes me guiaron en este largo camino.

Yuri Izarra Juscamaita

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros asesores de tesis, el Ing. Néstor Huamán y el Ing. Joaquín Tamara, por su apoyo y guía durante la elaboración de nuestra tesis.

Marjorie Asencios y Yuri Izarra

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos	13
1.1.1 Problema general.....	14
1.1.2 Problemas específicos	14
1.2 Objetivo general y específico.....	14
1.2.1 Objetivo general	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática	15
1.3.1 Delimitación temporal	15
1.3.2 Delimitación espacial	15
1.3.3 Delimitación temática.....	15
1.4 Justificación e importancia	15
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1 Antecedentes del estudio de investigación	17
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema	20
2.2.1 Investigaciones nacionales.....	20
2.2.2 Investigaciones internacionales.....	22
2.3 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	24
2.3.1 Tipos de pavimento	24
2.3.1.1 Pavimentos rígidos.....	24
2.3.1.2 Pavimentos flexibles	24
2.3.1.3 Pavimentos semirrígidos	24
2.3.2 Estructura de un pavimento asfáltico	25
2.3.3 Estabilización de suelos	27
2.3.1.1 Fundamentos para la estabilización	27
2.3.1.2 Criterios para seleccionar estabilizadores de suelo.....	28
2.3.1.3 Métodos de Estabilización.....	32
2.3.1.4 Ventajas de la Estabilización.....	34
2.3.2 Estabilización con cemento portland.....	34

2.3.2.1	Definición de cemento portland.....	34
2.3.2.2	Composición del cemento portland.....	35
2.3.2.3	Definición del suelo-cemento	35
2.3.2.4	Componentes del suelo-cemento	35
2.3.2.5	Clasificación de materiales.....	36
2.3.2.6	Ensayos para el suelo estabilizado con cemento portland.....	38
2.3.3	Estabilización con emulsión asfáltica.....	38
2.3.3.1	Definición de la emulsión asfáltica.....	38
2.3.3.2	Composición de la emulsión asfáltica.....	39
2.3.3.3	Clasificación de la emulsión asfáltica	41
2.3.3.4	Procedimiento de la emulsión asfáltica.....	43
2.3.3.5	Rotura de la emulsión asfáltica.....	43
2.3.3.6	Clasificación de materiales.....	44
2.3.3.7	Ensayos para el suelo estabilizado con emulsión asfáltica.....	45
2.3.4	Ensayos Estándar.....	46
2.3.4.1	Contenido de Humedad (Norma NTP 339.160 -2001)	46
2.3.4.2	Peso específico (ASTM C217)	46
2.3.4.3	Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-422, MTC 107).....	46
2.3.4.4	Limite Líquido (ASTM D-4318, MTC E110).....	47
2.3.4.5	Limite Plástico (ASTM D-4318, MTC E111).....	47
2.3.4.6	Índice de plasticidad.....	48
2.3.4.7	Equivalente de Arena (ASTM D-2419, MTC-E114).....	49
2.3.4.8	Contenido Sales Solubles Totales (MTC E219).....	49
2.3.4.9	Partículas Chatas y Alargadas (ASTM D-4791, MTC E223).....	49
2.3.4.10	Porcentaje de Caras de Fractura (ASTM D-5821, MTC E210).....	50
2.3.4.11	Clasificación e identificación de suelo	50
2.3.5	Ensayos Especiales.....	51
2.3.5.1	Ensayo de Proctor modificado (ASTM D-1557, MTC-E115)	51
2.3.5.2	Ensayo California Bearing Ratio (CBR) (ASTM 1883, MTC E132).....	51
2.3.5.3	Abrasión los Ángeles (ASTM C-131, MTC-E207).....	51
2.3.5.4	Durabilidad del agregado fino y grueso (ASTM C-88, MTC-E209).....	52
2.3.5.5	Índice de Durabilidad (MTC E214).....	52
2.4	Definición de términos básicos	53
	CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	54

3.1 Hipótesis	54
3.1.1 Hipótesis general	54
3.1.2 Hipótesis específicas	54
3.2 Variables	54
3.2.1 Definición conceptual de las variables	54
3.2.2 Operacionalización de las variables	55
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	56
4.1 Tipo y nivel	56
4.2 Diseño de investigación	57
4.3 Población y muestra	57
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos.....	57
4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	57
4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos	57
4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	58
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	59
5.1 Resultados de la investigación	59
5.1.1 Resultados de ensayos del material de cantera	60
5.1.2 Resultados de ensayos de la base estabilizada con emulsión asfáltica.....	62
5.1.3 Resultados de ensayos de la base estabilizada con cemento portland.....	64
5.2 Análisis e interpretación de los resultados.....	66
5.3 Contratación de hipótesis	70
5.3.1 Hipótesis específica 1	70
5.3.2 Hipótesis específica 2	71
5.3.3 Hipótesis específica 3	71
5.3.4 Hipótesis general	72
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	76
ANEXOS.....	79
Anexo 1. Matriz de consistencia	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito en el Perú.....	17
Tabla 2. Definiciones de caminos de bajo volumen según IMD<200 veh/día para Sudamérica.....	18
Tabla 3. Definiciones de caminos de bajo volumen según IMD<200 veh/día para el mundo.....	18
Tabla 4. Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador	30
Tabla 5. Guía Complementaria Referencial para la selección del tipo de estabilizador.	31
Tabla 6. Rango de Cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento.....	36
Tabla 7. Ensayos y frecuencias para el suelo estabilizado con cemento portland	38
Tabla 8. Requerimiento de emulsión asfáltica catiónica.	45
Tabla 9. Ensayos y frecuencias para el suelo estabilizado con emulsión asfáltica.....	45
Tabla 10. Relación de tesis analizadas	59
Tabla 11. Resultados de Material de Cantera. Tesis de Grado. De La Torre, M. (2018)	60
Tabla 12. Resultados de Material de Cantera. Tesis de Grado. Ccora, J & Montenegro, H. (2011)	60
Tabla 13. Resultados de Material de Cantera. Tesis de Grado. Laurente. (2011)	61
Tabla 14. Resultados de Material de Cantera. Tesis de Grado. Aliaga, F. & Soriano, C. (2019)	61
Tabla 15. Resultados de Material de Cantera estabilizado con emulsión asfáltica. Tesis de Grado. De La Torre. (2018).....	62
Tabla 16. Resultados de Material de Cantera estabilizado con emulsión asfáltica. Tesis de Grado. Ccora, J. & Montenegro, H. (2011).....	62
Tabla 17. Resultados de Material de Cantera estabilizado con emulsión asfáltica. Tesis de Grado. Laurente, Y. (2011).....	63
Tabla 18. Resultados de Material de Cantera estabilizado con emulsión asfáltica. Tesis de Grado. Aliaga, F. & Soriano, C. (2019)	63
Tabla 19. Resultados de Material de Cantera estabilizado con cemento portland. Tesis de Grado. De La Torre. (2018).....	64
Tabla 20. Resultados de Material de Cantera estabilizado con cemento portland. Tesis de Grado. Ccora, J. & Montenegro, H. (2011).....	64
Tabla 21. Resultados de Material de Cantera estabilizado con cemento portland. Tesis de Grado. Laurente, Y. (2011).....	65

Tabla 22. Resultados de Material de Cantera estabilizado con cemento portland. Tesis de Grado. Aliaga, F. & Soriano, C. (2019)	65
Tabla 23. Cuadro comparativo de los resultados de CBR de material de cantera y estabilizado con emulsión asfáltica.	66
Tabla 24. Cuadro comparativo de los resultados de CBR de material de cantera y estabilizado con cemento portland.	67
Tabla 25. Cuadro comparativo de los resultados de MDS de material de cantera y estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica.	68
Tabla 26. Cuadro comparativo de los resultados de OCH de material de cantera y estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica.	68
Tabla 27. Cuadro de resultados del ensayo a la compresión simple del material estabilizado con cemento portland.	69
Tabla 28. Cuadro de resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta del material estabilizado con emulsión asfáltica.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura típica de pavimentos asfálticos.....	25
Figura 2. Proceso para la Identificación del Tipo del suelo	28
Figura 3. Proceso de selección del Tipo de Estabilización.....	29
Figura 4. Comparación gráfica del material de cantera y estabilizado con emulsión asfáltica.....	66
Figura 5. Comparación gráfica del material de cantera y estabilizado con cemento portland para valores de CBR.	67
Figura 6. Comparación gráfica del material de cantera, estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica, para valores de MDS.	68
Figura 7. Comparación gráfica del material de cantera, estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica, para valores de OCH.....	69

RESUMEN

Como se sabe la infraestructura vial de carreteras tiene una gran importancia en el desarrollo económico y social de nuestro, motivo por el cual el sector de Transportes y Comunicaciones es el que cuenta con el mayor porcentaje de inversión pública, ya sea para la construcción de nuevas carreteras o el mantenimiento y conservación de carreteras existentes. Siendo la Red Vecinal la de mayor longitud y menor porcentaje de kilómetros asfaltados que, a pesar de tener un bajo volumen de tránsito, son las que conectan con las zonas más alejadas del país.

Por lo que, con el objetivo de proponer la aplicación de cemento portland o emulsión asfáltica en la estabilización de una base granular para caminos de bajo volumen de tránsito, se analizaron los resultados de las propiedades mecánicas de la base granular al ser estabilizadas con ambas opciones, determinando así el nivel de mejoramiento de dichas propiedades y la mejor opción.

Para ello se analizó diversas tesis tanto nacionales como internacionales, estas a su vez presentadas entre los años 2010 y 2020 para lo cual se utilizará un estudio deductivo, ya que mediante estas investigaciones se analizaron los resultados obtenidos para ambas estabilizaciones, llegando a determinar su aplicabilidad en caminos de bajo volumen.

Finalmente, habiendo realizado la comparación con el propósito de medir el cambio en los resultados para cada caso, concluimos que la estabilización que obtiene mejores niveles de mejoramiento para sus propiedades mecánicas es la estabilización con cemento portland.

Palabras claves: Estabilización de base granular, cemento portland, emulsión asfáltica.

ABSTRACT

As is known, the road infrastructure is of great importance in the economic and social development of our country, which is why the Transport and Communications sector is the one with the highest percentage of public investment, either for the construction of new roads or the maintenance and upkeep of existing roads. Being the Neighborhood Network the longest and the smallest percentage of paved kilometers that, despite having a low volume of traffic, are the ones that connect with the most remote areas of the country.

Therefore, with the objective of proposing the application of portland cement or asphalt emulsion in the stabilization of a granular base for roads with low traffic volume, the results of the mechanical properties of the granular base were analyzed when stabilized with both options. , thus determining the level of improvement of said properties and the best option.

For this, various national and international theses were analyzed, these in turn presented between 2010 and 2020 for which a deductive study will be used, since through these investigations the results obtained for both stabilizations were analyzed, determining their applicability. on low volume roads.

Finally, having made the comparison in order to measure the change in the results for each case, we conclude that the stabilization that obtains the best levels of improvement for its mechanical properties is stabilization with portland cement.

Keywords: Granular base stabilization, Portland cement, Asphalt emulsion.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación titulada “Nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base del pavimento estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica”, tiene como objetivo determinar el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular de la estructura del pavimento, analizando los cambios que sufren dichas propiedades al estabilizar la base con cemento portland y emulsión asfáltica. Basándonos en investigaciones anteriores se compararon y analizaron los resultados, pudiendo ser utilizado como referencia para próximos estudios sobre la estabilización y mejora de base con emulsión asfáltica y cemento portland.

Asimismo, desde el punto social, el estudio contribuirá de ayuda a la busca de posibles soluciones más económicas para el mejoramiento a través de la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica.

Esta investigación está dividida en cinco capítulos de la siguiente manera:

En el Capítulo I se realizó el planteamiento del problema, identificando el problema de encontrar materiales óptimos para una base granular, la formulación del problema, objetivos, justificación e importancia de la investigación.

En el Capítulo II se realizó el marco teórico, se da a conocer los antecedentes de la estabilización tanto nacionales como internacionales, bases teóricas que sustentan la investigación y definiciones de términos básicos.

En el Capítulo III conformado por el sistema hipótesis definiendo las variables dependientes e independientes, presentado la operacionalización de variables e presentando las hipótesis general y específicas.

En el Capítulo IV conformado por la metodología de la investigación, donde se define tipo y nivel de investigación, diseño de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y las técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

En el Capítulo V se presentan los resultados de la investigación, el análisis e interpretación de resultados y contrastación de hipótesis.

Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

En la actualidad la infraestructura vial de carreteras es uno de los factores de mayor importancia para el desarrollo social y crecimiento de cualquier país, ya que contribuye a generar conexiones entre los puntos más alejados del país y las principales ciudades. Estas conexiones facilitan el transporte de mercancías y productos de primera necesidad, que a la vez contribuyen al desarrollo económico. De acuerdo a lo expuesto, es necesario contar con un eficiente sistema de transporte de calidad, garantizando una estabilidad económica.

En Perú, según lo indicado en el Informe Multianual de Inversiones en Asociaciones Público Privadas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones; la red vial está compuesta por 168,953.9 km, estos se encuentran divididos entre la Red Vial Nacional con 27,053.7 km (16%), la Red Vial Departamental con 27,639 km (16%) y la Red Vial Vecinal con 114,260.5 km (68%). Dicho informe menciona que con respecto a la Red Vial Vecinal solo 2,335.8 km (2%) se encuentra pavimentada, dejando un 111,924.7 (98%) en situación no pavimentada, lo que representa una brecha importante en el desarrollo del país.

Según los diferentes proyectos de infraestructura vial, en el Perú se vienen utilizando la estabilización de suelos con el fin de mejorar y obtener mayor resistencia y durabilidad en los pavimentos, cumpliendo así los parámetros exigidos en los manuales del MTC.

Dentro de los diferentes tipos de estabilización de bases, se encuentran la estabilización mecánica de suelos, por combinación de suelos, por sustitución de los suelos; que como solo requieren procedimientos de compactación con suelos existentes o de préstamo. También están la estabilización con la adición de agentes estabilizadores en diferentes proporciones dependiendo de las propiedades del suelo, dichos estabilizadores son: la cal, el cemento, escoria, cloruros, productos asfálticos, entre otros.

Por lo expuesto anteriormente, debido a que existe una gran variedad de estabilizadores esta investigación se realizará tomando de referencia la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica, buscando así poder

determinar el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base del pavimento y así recomendar su aplicación.

1.1.1 Problema general

¿Cuál es el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular de la estructura del pavimento en la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en caminos de bajo volumen, según la bibliografía del año 2011 al 2020?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿En qué medida mejoran las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland en caminos de bajo volumen, según la bibliografía del año 2011 al 2020?
- b) ¿En qué medida mejoran las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento estabilizado con emulsión asfáltica en caminos de bajo volumen, según la bibliografía del año 2011 al 2020?
- c) ¿Cuál es la mejor estabilización en caminos de bajo volumen de tránsito de acuerdo al nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular?

1.2 Objetivo general y específico

1.2.1 Objetivo general

Determinar el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular de la estructura del pavimento en la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en caminos de bajo volumen, según la bibliografía del año 2011 al 2020, en el año 2021.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analizar los resultados de las propiedades mecánicas de la base granular estabilizado con cemento portland en caminos de bajo volumen de tránsito, según la bibliografía del año 2011 al 2020.
- b) Analizar los resultados de las propiedades mecánicas de la base granular estabilizado con emulsión asfáltica en caminos de bajo volumen de tránsito, según la bibliografía del año 2011 al 2020.

- c) Proponer su aplicación en caminos de bajo volumen de tránsito de acuerdo al nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular estabilizada.

1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática

1.3.1 Delimitación temporal

El estudio comprende los meses de mayo a noviembre del 2021, tiempo que dura el Programa de Titulación por Tesis, en los que se investiga y elabora la tesis.

1.3.2 Delimitación espacial

Nuestra investigación se centrará en el análisis de los resultados de diferentes tesis e investigaciones, tanto nacionales como internacionales elaboradas durante los años 2015-2020 en diferentes lugares, debido a la coyuntura generada por la pandemia de COVID-19 no se enfocará a un caso particular.

1.3.3 Delimitación temática

La presente tesis, busca determinar el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento, recolectando y analizando los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones pasadas.

1.4 Justificación e importancia

El presente proyecto de tesis se realizó con el fin de determinar el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento, que se genera con la aplicación de la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica.

La utilización de estos productos asfálticos en el Perú se usa para mejorar las características físicas y mecánicas de los suelos, no se posee mucha información y experiencia en este ámbito.

Para lo cual, este trabajo servirá de referencia para próximos estudios sobre la estabilización y mejora de base con emulsión asfáltica y cemento portland.

Desde el punto social, el estudio contribuirá de ayuda a la busca de posibles soluciones más económicas para el mejoramiento a través de la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica.

De las muchas soluciones para el mejoramiento de las propiedades de los suelos todas han evolucionado desde las más rudimentarias hasta las más actuales, gracias a la tecnología se pueden usar nuevas técnicas para la estabilización de suelos empleando productos asfálticos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

Debido a la necesidad de interconectar lugares y fomentar el desarrollo económico y social en el país, se clasificaron las diferentes rutas dependiendo de su importancia y demanda vehicular. Por dicho motivo, en el año 2001, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, oficializa el primer manual de diseño geométrico de carreteras (DG-2001), dentro del cual se clasifica la Red Vial de acuerdo a su función, demanda y orografía. El DG-2001 no incluye en la clasificación a los caminos con un IMD menor a 200 veh/día, por lo que años más tarde se elabora el Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, la misma que tuvo modificaciones y mejoras en sus versiones de los años 2005 y 2008.

Posteriormente en el año 2014, los manuales mencionados se integran en uno solo, quedando derogados y entrando en vigencia el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico de Carreteras DG-2013, aprobado por la Resolución Directoral N° 31-2013-MTC/14, el mismo que comprende todos los conceptos, procedimientos y documentos técnicos de las normas citadas anteriormente. A la fecha, el DG-2013 también tuvo modificaciones en el año 2014, siendo su última versión en el 2018.

Tabla 1. Clasificación de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito en el Perú

DG-2001						DG 2013-2014-2018		
Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito – 2005			Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito – 2008					
	IMD (veh/día)	Secciones (m)		IMD (veh/día)	Secciones (m)		IMD (veh/día)	Secciones (m)
T4	200-400	7.00–8.00	T3	100-200	6.50-7.60	Trochas carrozables	<200	>4.00
T3	100-200	6.50–7.60	T2	51-100	6.50-7.00			
T2	50-100	6.50-7.00	T1	16-50	4.50-7.00			
T1	16-50	4.50-7.00	T0	0-15	4.5			
T0	0-15	4.5	Trocha	Sin definir				
Trocha	Sin definir							

Fuente: Caminos vecinales, realidad y normativa (URP, 2017)

Sin embargo, a nivel internacional, las definiciones para caminos de bajo volumen varían, por lo cual Arévalo, V. (2017) hizo una comparativa de varios manuales y los resumió según las siguientes tablas:

Tabla 2. Definiciones de caminos de bajo volumen según $IMD < 200$ veh/día para Sudamérica.

País	Definición
Perú	Trocha Carrozable, vías Vecinales, Caminos rurales: no alcanza características geométricas, tienen $IMD < 200$ veh/día.
Chile	Caminos de Desarrollo, destinados a conectar zonas aisladas, transitan vehículos motorizados y tracción animal. Características mínimas de caminos públicos.
Bolivia	Caminos de desarrollo
Brasil	Caminos Vecinales, clase E, tiene $IMD < 200$.
Colombia	Vía Terciaria, Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.
Ecuador	Vías vecinales, Estas vías son las carreteras clase IV y V que incluyen a todos los caminos rurales no incluidos en las denominaciones anteriores. < 300 y < 100 veh/día.
Paraguay	Terciaria, local y desarrollo.

Fuente: Estándares de Diseño Geométrico para caminos rurales con $IMD < 200$ veh/día – Caso Perú (URP, 2017)

Tabla 3. Definiciones de caminos de bajo volumen según $IMD < 200$ veh/día para el mundo.

Normas	Definición
AASHTO 2001	Caminos locales rurales, $IMD < 400$, principales, secundarios, agrícolas, recreacionales, recursos
AASHTO 2011	Caminos locales rurales, $IMD < 400$, principales, secundarios, agrícolas, recreacionales, recursos.
Nueva York	Rural de Bajo Volumen, mayor, menor industrial, comercial, agrícola, recreacional, escénico, recursos.
Banco Mundial	Caminos Acceso Básico a Comunidades rurales, Asegurar la transitabilidad al mínimo costo, con estándares de ingeniería básica.
Manual de Caminos Rurales – España	Camino rural, Son las vías que facilitan el acceso al ordenamiento rural, pueden ser de servicio a poblados, agrícolas, principales, secundarios, etc.
Caminos Rurales Brasil	Caminos rurales, caminos vecinales, Estas vías corresponden a las vías locales, y que conforman el sistema capilar de salida de la producción agrícola.
Romania	Caminos rurales, comunales, locales, típicamente tienen $IMD < 200$ veh/día.
Caminos No Pavimentados Australia	Caminos rurales municipales, típicamente tienen $IMD < 200$ veh/día.

Fuente: Estándares de Diseño Geométrico para caminos rurales con $IMD < 200$ veh/día – Caso Perú (URP, 2017, p.3)

Con todo este análisis se puede llegar a la conclusión que se considera a los caminos rurales, a todos aquellos que tienen un $IMD < 400$ veh/día con estándares de Ingeniería Básica.

Por otro lado, la aplicación de la estabilización con suelo cemento se inicia metódicamente entre los años 1910 y 1920. Posteriormente en Estados Unidos, en 1917, se patentó un primer mejoramiento de suelos a nivel de base luego de mezclar proporcionalmente variables de cemento portland. El esfuerzo conjunto de la Asociación del Cemento Portland (PCA), de la Oficina de Caminos Públicos y el Departamento de Carreteras del Estado de Carolina del Sur, se unieron para contribuir de manera importante al desarrollo tecnológico de la estabilización con cemento (Amies, J., 2006)

En el caso de emulsiones asfálticas, los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto. Adicionalmente se tiene el emulgente el cual se deposita en la interface entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión; éste depende del tipo de emulsión que se requiera. Las emulsiones del tipo asfáltico aparecieron en el mercado a principios del siglo XX en diferentes lugares y con usos muy diversos. A principios de 1900 (en 1905) se empleó por primera vez una emulsión asfáltica en la construcción de carreteras en la ciudad de Nueva York; la emulsión utilizada es del tipo aniónica y se empleó en lugar de los usuales caminos fabricados con material pétreo, como una alternativa para evitar el polvo cuando transitaban los vehículos. En 1914 el estado de Indiana comenzó a realizar trabajos de reparación de caminos empleando estas emulsiones aniónicas. En ese mismo año, en Hamburgo, Alemania, se construyó una carpeta asfáltica con un tratamiento superficial de varias capas, empleando una emulsión estabilizada la cual reacciona activamente con la arcilla del substrato pétreo. Las emulsiones aniónicas se comenzaron a emplear en Europa en 1925. En la fabricación de éstas se aprovecharon los ácidos nafténicos contenidos en el asfalto para que actuaran como el agente emulsificante en el momento de agregar agua con sosa cáustica al sistema y someterlo a una vigorosa agitación. Las emulsiones asfálticas se comenzaron a utilizar en México de 1930 a 1935 para la construcción de caminos. El gran inconveniente que tuvieron fue el largo tiempo de rompimiento de la emulsión, que en la época de lluvias causaba muchos retrasos y graves problemas de construcción. Por este motivo, los asfaltos rebajados ganaron la preferencia del constructor y hasta la fecha, no han podido ser desplazados totalmente. Las emulsiones asfálticas catiónicas aparecieron en Europa en 1953 y en Estados Unidos hasta 1958. Aparentemente, su aplicación inicial en la construcción de caminos coincidió con la aparición de nuevos productos químicos tenso-activos en el mercado, los cuales tienen,

adicionalmente, otros usos como en el campo de las pinturas, en la industria petrolera, en la industria textil, etc. Al principio, tales emulsiones se usaron únicamente en la construcción de tratamientos superficiales, como riego de liga y de sello. Al reconocerse la ventaja de las emulsiones catiónicas sobre las aniónicas y los rebajados, se inició la búsqueda de un emulsificante que produjera una emulsión de rompimiento lento, capaz de mezclarse con una granulometría para base o para carpeta. Las emulsiones catiónicas se conocieron en México en el año de 1960. En ese año se hicieron varias pruebas y los ingenieros mexicanos presentaron en el Congreso Panamericano de Carreteras en Bogotá, Colombia, un trabajo titulado: “Primeras investigaciones realizadas en México con emulsiones asfálticas catiónicas”. En 1973, los países árabes, poseedores de la mayoría del petróleo mundial, aumentaron el valor del barril de petróleo crudo resultando afectados los derivados del mismo, entre ellos los solventes empleados en los asfaltos 22 rebajados; esto provocó un incremento en el uso mundial de las emulsiones asfálticas. Los países con mayor producción de emulsiones asfálticas son, en orden de importancia: Estados Unidos, Francia, España y Japón. Entre estos cuatro países se fabrica un 40% aproximadamente de la producción mundial de emulsión asfáltica, que se estima actualmente próxima a los dieciséis millones de toneladas, de la que más del 85% es del tipo catiónico. (Rodríguez, R., Castaño, V., & Martínez, M., 2001)

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones nacionales

De la Torre, M. (2018), en su tesis de pregrado “Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento portland para el proyecto de conservación vial Puno Tacna Tramo: Tarata – Capazo – Mazocruz”, indicó que del análisis comparativo técnico-económico entre las soluciones propuestas se tiene que el diseño que contempla el suelo estabilizado con emulsión asfáltica es la propuesta más viable. El uso de emulsiones asfálticas dota de mejores propiedades al suelo tratado, sin embargo, este eleva su costo considerablemente. Así mismo, la aplicación de cemento portland o emulsión asfáltica en dosificaciones menores a 1% no altera las propiedades mecánicas y físicas del suelo.

Ayala, E. & Gallardo, E. (2015) en su tesis “Estabilización de la base de un pavimento rígido con cemento portland tipo I utilizando las canteras El Gavilán, Don Lucho y El Río Chonta”, determinaron que la capacidad de soporte de la base del pavimento rígido se incrementa entre 7 a 67% con una adición de 2 a 8% de cemento portland tipo I, es decir a mayor porcentaje de cemento mayor es la capacidad de soporte.

Salas, D. (2017) en su tesis titulada “Estabilización de suelos con adición de cemento y aditivo terrasil para el mejoramiento la base del Km 11+000 al Km 9+000 de la carretera Puno – Tiquillaca – Mañazo”, determina que con la adición de 4% de cemento portland al suelo obtenido de la cantera “Lumpoorcco”, suelo considerado como regular según el MTC, se obtienen mejoras en las propiedades mecánicas como el índice plástico, densidad seca y CBR.

Vera, J. (2015) manifiesta en su tesis de pregrado “Mejoramiento con emulsiones asfálticas de base granular, para pavimentos en la región Lambayeque”, que del estudio realizado se determinó el porcentaje tentativo de emulsión, calculada de forma teórica, teniendo en cuenta la granulometría de cada material granular, obteniendo los siguientes resultados 6.44 % de la cantera Tres Tomas, 6.16 % de la cantera El Cinco, 5.92 % de la cantera San Luis (60%) + Cachinche (40%), partiendo del porcentaje de humedad obtenida en el ensayo Proctor Modificado y tomando en cuenta la cantidad de agua que posee la emulsión.

Caparó, E. & Escalante, L. (2015) con su Tesis “Estabilización De Suelos Con Emulsión Asfáltica In Situ En La Av. Prolongación Andrés Avelino Cáceres, Análisis Comparativo” manifiestan.que la base granular existente tiene valores de CBR de 94%, 88.5% y 87% para las calicatas 1,2 y 3 respectivamente, el requisito para el tipo de tráfico de la vía es un CBR del 100%, sin embargo al utilizar la emulsión asfáltica como estabilizador los valores obtenidos de CBR son de

106%, 105% y 101%, superando el requerido. La emulsión utilizada es la CSS-1h, es una emulsión catiónica de curado lento. Las emulsiones catiónicas logran mezclas estables y se emplean generalmente para bases de granulometría cerrada. El CBR de una base granular estabilizada con emulsión asfáltica incrementa su valor en un 15% en promedio sobre la base granular existente sin estabilizar.

Suxe, R. (2018) indicó en su tesis de pregrado titulada: “Aplicación De Emulsión Asfáltica Para Estabilizar El Afirmado De La Carretera Bagua Grande - Buena Vista, Región Amazonas 2017”. Luego de Verificar las propiedades del afirmado se pudo determinar que el agregado que mejor se adapta a trabajar con la emulsión asfáltica es aquel que cumple la siguiente granulometría (grava 61% arena 28.3% arcilla y limo 10.2% y un IP 6.61% cuya clasificación AASHTO es A-1-b. Los suelos que son finos absorben mayor emulsión y es muy difícil hacer un cálculo del porcentaje de emulsión adecuado debido a que son muy fáciles de saturar. Las emulsiones deben ser de rotura lenta y debe estar avalada por sus certificados de calidad para esta investigación lo entregó el proveedor TDM, Cuyos resultados cumplen los parámetros de las normas del EG-2013. Una vez determinado que el afirmado existente y la emulsión cumplen con los parámetros mínimos del EG-2013. Se concluye que el porcentaje de emulsión para este tipo de afirmado de la carretera materia de estudio es de 5% como el más óptimo, pero también funciona con porcentajes mayores de hasta 7%. El afirmado de esta carretera experimenta un cambio porcentual muy significativo pasando de un CBR de 37.79% en cantera a un CBR de 87.2% cuando se le agrega el 5% de emulsión asfáltica

2.2.2 Investigaciones internacionales

Díaz, P. & Ortiz, C. (2019) en su tesis “Diseño y análisis de bases estabilizadas con cemento tipo UG (uso general) y MCH (moderado calor de hidratación)” manifestó que para una base que contiene más material fino al estabilizarlo con cemento tipo UG o MCH, la mezcla

requiere menos cantidad de agua para obtener la máxima densidad seca. Además de esto, las mezclas con el cemento MCH requieren una menor cantidad de agua, manteniendo la premisa anteriormente expuesta. La resistencia a la compresión para las probetas con cemento UG que cumplían con el requerimiento mínimo de 3.5MPa fueron de: 3.8MPa, BTC-25 con 4% de cemento y 4.1MPa, BTC-38 con 5% de cemento; y con cemento MCH fueron de: 5.2MPa, BTC-25 con 4% de cemento y 4.2MPa, BTC-38 con 4% de cemento. Teniendo en cuenta estos valores, efectivamente el cemento de moderado calor de hidratación o MCH permite que se obtenga una mayor resistencia de una base granular, por lo tanto, se considera preciso, que la norma INVIA S autorice el uso de un menor porcentaje de este cemento especial.

Pineda, A. & Riaño, F. (2019) en su tesis de grado titulada “Estudio de una mezcla de base granular con cemento y solid soil para una resistencia a la compresión de 2.5 MPa” manifiestan que una mezcla al ser estabilizada con cemento es una de las mejores opciones, ya que proporciona durabilidad, impermeabilidad y resistencia a la fatiga, por lo que no son susceptibles a sufrir daños; pero dichas mezclas tiene una gran desventaja que es la rigidez que incorpora el cemento. En ese sentido mediante ensayos físicos de laboratorio de resistencia a la compresión, se determinó la dosificación óptima de cemento con la adición de 1.3 kg/m³ de aditivo solid soil, el cual proporcionaría mayor resistencia y flexibilidad a la mezcla. Los ensayos dieron como resultado una resistencia a la compresión de 10% para una mezcla con 4.6% de cemento y 1.3 kg. de solid soil.

Quiroz, W. (2017) manifiesta en su tesis “Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR”, que por medio de ensayos de laboratorio determinaron que la mezcla estabilizada con

9% de emulsión asfáltica adquiere un valor de CBR de 60% con una densidad máxima seca de 2.484 gr/cm³.

2.3 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.3.1 Tipos de pavimento

2.3.1.1 Pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos son aquellos que están conformados por una losa de concreto hidráulico, que le proporciona la capacidad de absorber casi la totalidad de los esfuerzos que se producen por las cargas vehiculares, proyectando en menor intensidad los esfuerzos a la capa inferior, la cual puede ser una base granular o estabilizada con cemento o cal.

Existen tres tipos de pavimentos de concreto:

- Pavimentos de concreto simple con juntas
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados.

Los pavimentos de concreto con juntas son los que mejor se aplican a la realidad nacional debido a su buen desempeño y a los períodos de diseño que usualmente se emplean. (MTC, 2014)

2.3.1.2 Pavimentos flexibles

Los pavimentos están constituidos por una serie de capas que permiten transmitir las cargas vehiculares hasta el terreno natural sin sufrir deformación. Entre estas capas están la subbase, base y carpeta de rodadura, cabe indicar que es posible prescindir de alguna de ella dependiendo de la carga vehicular, tipo de suelo, entre otros.

2.3.1.3 Pavimentos semirrígidos

Los pavimentos semirrígidos están compuestos por una capa asfáltica y bases tratadas con asfalto, con cemento, cal u otro aditivo, es un pavimento que posee características de un pavimento rígido y flexible, generalmente las capas rígidas están en parte inferior y las capas flexibles en la parte superior. (MTC, 2014)

2.3.2 Estructura de un pavimento asfáltico

La estructura del pavimento está destinada a soportar las cargas provenientes del tráfico.

Los pavimentos asfálticos están conformados por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y sub base. No obstante, puede prescindirse de una de ellas dependiendo de las necesidades particulares del proyecto. Su distribución típica se grafica en la siguiente figura.

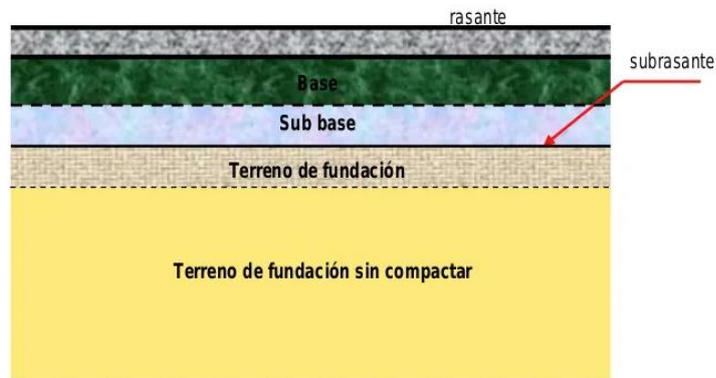


Figura 1. Estructura típica de pavimentos asfálticos.

Fuente: Diseño moderno de pavimentos asfálticos.

Instituto de la Construcción IGC.

a) Sub base granular

Es la capa de la estructura del pavimento que tiene por funciones: soportar, transmitir y distribuir de manera uniforme las cargas aplicadas desde la superficie de rodadura del pavimento a la subrasante. También la subbase debe soportar las variaciones que pueden afectar al suelo, controla los cambios de elasticidad y volumen que pueden dañar el pavimento. Esta capa se utiliza también como capa de drenaje y para el control de ascensión capilar de agua, cuidando la estructura de pavimento, por lo que ordinariamente se usan materiales granulares.

b) Base

Conformada por la estructura del pavimento ubicada entre la Subbase y la carpeta de rodadura que tiene como funciones principales: la distribución y la transmisión de las cargas generadas por el tránsito, a capas inferiores

del pavimento como: la Sub- base y a través de esta a la subrasante, y es la capa que sirve de soporte a la capa de rodadura. Estas bases se pueden también clasificar en las siguientes:

- Base granular:

Es la capa que conforma la estructura del pavimento ubicada entre la Subbase y la capa de rodadura, esta capa está constituida por piedra de buena calidad triturada, grava y mezclada con material de relleno, arena y suelo, en su estado natural. Los materiales que forman esta capa deben de ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas a utilizarse en el diseño, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, todas estas propiedades dependen de la relación entre la cantidad de finos y de agregado grueso.

- Base Estabilizada:

Conforma la estructura del pavimento ubicada entre la Subbase y la capa o superficie de rodadura, esta capa está constituida por piedra triturada de buena calidad, grava y mezclada con material de relleno, arena y suelo, esta mezcla se combina con materiales o diferentes productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de Subbase. (Arenas, R., 2019)

c) Carpeta de rodadura

Es la carpeta superior que conforma la estructura del pavimento que se coloca sobre la base.

La función principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, evitando el ingreso del agua por filtración que puede saturar las capas inferiores evitando así su deterioro.

La capa de rodadura aumenta la capacidad soporte del pavimento, por que absorbe cargas, este aumento es apreciable para espesores mayores a 4 centímetros, en el caso de riegos superficiales se considera el aumento nulo.

Las carpetas de rodadura pueden ser en base a: tratamientos superficiales, morteros asfálticos, micropavimento, otta seal, slurry seal, mezclas asfálticas calientes, tibias o frías, entre otras.

2.3.3 Estabilización de suelos

Según el MTC en su manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, la estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Estos estabilizadores, por lo general se utilizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos. Por el contrario, cuando se estabiliza una sub base granular o base granular, para obtener un material de mejor calidad se denomina como subbase o base granular tratada (con cemento o con cal o con asfalto, etc.).

La estabilización tiene como fin, dotar a los suelos una mayor resistencia mecánica y su permanencia en el tiempo. Las técnicas de estabilización son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes; pero cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación. Es así como cuando una base no posee condiciones óptimas trabajables se estabiliza la capa con la finalidad de obtener un material de calidad.

2.3.1.1 Fundamentos para la estabilización

Según el MTC (2018), las carreteras de Tercera Clase, son aquellas con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo, excepcionalmente pueden tener hasta 2,50m; Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura.

La estabilización se fundamenta en el mejoramiento de las propiedades del suelo, como son la estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad siendo

estas las más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización. Al elegir algún tipo de producto para mejorar las características del suelo los estudios se concentran en verificar si mejora alguna de estas propiedades.

2.3.1.2 Criterios para seleccionar estabilizadores de suelo

Dependiendo del material granular a usarse para la construcción de la base con o sin estabilizantes, el cual puede ser proveniente de excavaciones, canteras, o escorias metálicas, la trituración de rocas, gravas o estar constituidos por una mezcla de productos de diversas procedencias, se realizan diferentes acciones en función del material, identificando criterios geotécnicos para establecer los tipos de suelo, según la Figura 2.

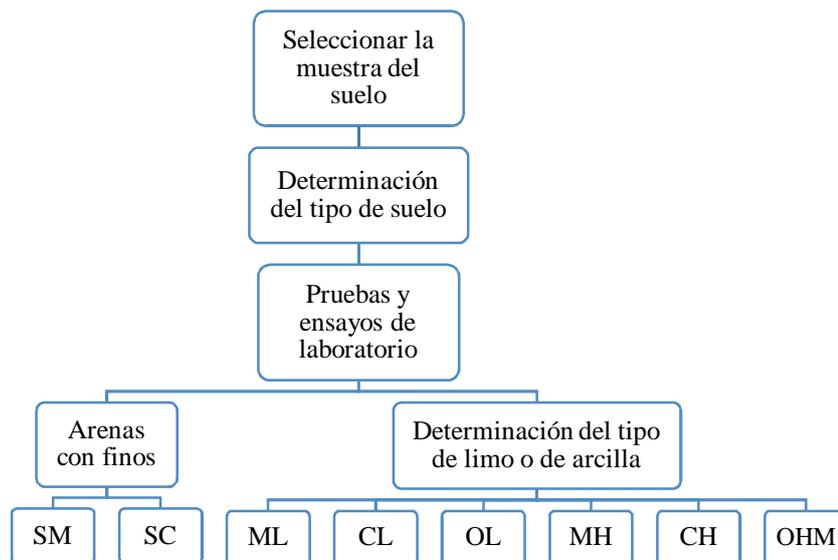


Figura 2. Proceso para la Identificación del Tipo del suelo

Fuente: MTC (2018)

Asimismo, se consideran factores para la selección del método más conveniente de estabilización que son:

- Tipo de suelo a estabilizar
- Uso propuesto del suelo estabilizado
- Tipo de aditivo estabilizador de suelos
- Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará
- Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador
- Disponibilidad del equipo adecuado
- Costos comparativos

Los mismos que se explican en la siguiente figura:

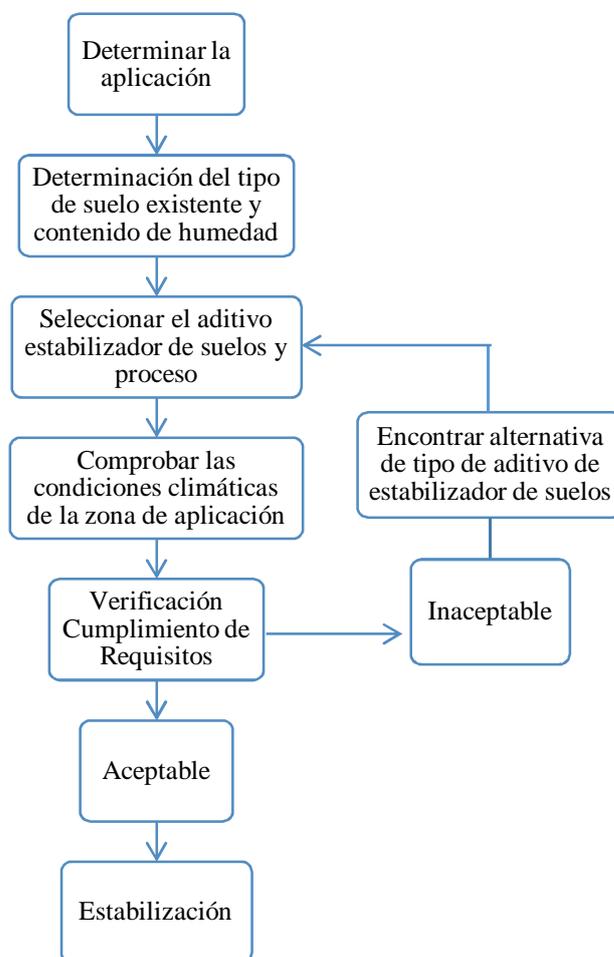


Figura 3. Proceso de selección del Tipo de Estabilización

Fuente: MTC (2018)

También se proporcionan guías referenciales para la selección del tipo de estabilizador en función al tipo de suelo que posee; así como la dosificación tiempo de apertura de tráfico.

Tabla 4. Guía Referencial para la Selección del Tipo de Estabilizador

Área	Clase de suelo	Tipo de Estabilizador Recomendado		Restricción en LL e IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
1 A	SW o SP	(1)	Asfalto			
		(2)	Cemento Portland			
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
1 B	SW - SM o SP - SM o SW - SC o SP - PC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
1 C	SM o SC o SM - SC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10	No de e exceder el 30% en peso	
		(2)	Cemento Portland	(b)		
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
2 A	GW o GP	(1)	Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N°4.
		(3)	Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
2 B	GW - GM o GP - GM o GW - GC o GP - GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N°4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
2 C	GM o GC o GM - GC	(1)	Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2)	Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N°4.
		(3)	Cal	IP no menor de 12		
		(4)	Cal-Cemento-Cenizas	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML o OH o OL o ML - CL	(1)	Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 20		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2)	Cal	IP no menor de 12		

IP = Índice Plástico; (b) $IP\ 20 + (50\text{-porcentaje que pasa la Malla N}^\circ\ 200) / 4$

■ Sin restricción u observación. No es necesario aditivo estabilizador

Fuente: US Army Corps of Engineers.

Tabla 5. Guía Complementaria Referencial para la selección del tipo de estabilizador

Tipo de Estabilizador Recomendado	Normas Técnicas	Suelo ⁽¹⁾	Dosificación ⁽³⁾	Curado (Apertura al Tránsito) ⁽⁵⁾	Observaciones
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 LL > 40% IP ≥ 18% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatas (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 1 0% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 1 5% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 O AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 1 0% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois.
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatas (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos capas. Diseño de la mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatas (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EC-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 1 5% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba.
Cloruro de Magnesio	MTC E1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba.
Enzimas	EC-CBT-2008 Sección 308B MTC E1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 1 5% 4.5 < pH < 8.5 CMO ⁽²⁾ No debe contener Abrasión < 50% % < N ° 200 :10 - 35%	1L / 30-33 m ³	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO ⁽²⁾ < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

(1) Espesor de tratamiento por capas de 6 a 8"

Tamaño máximo: 2', debe carecer de restos vegetales

Los suelos naturales, materiales de bancos de préstamo o mezcla de ambos que sean objeto de estabilización, deben estar definidos en el Expediente Técnico del Proyecto

(2) CMO: Contenido de materia orgánica

- (3) Los diseños o dosificaciones deben Indican fórmula de trabajo, tipo de suelo, cantidad de estabilizador, volumen de agua, valor de CBR o resistencia a compresión simple o resultados de ensayos Marshall modificado o Illinois, según corresponda al tipo de estabilizador aplicado
 - (4) Para altitudes mayores a 3000 msnm
 - (5) Después de finalizado el proceso de compactación
- Fuente: MTC, 2014.

2.3.1.3 Métodos de Estabilización

El manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, contempla diversos métodos de estabilización, los cuales se mencionan a continuación:

a) Estabilización mecánica de suelos:

Es una técnica de mejora basada únicamente en la compactación del suelo existen, reduciendo el volumen de vacíos, evitando así modificar la estructura y composición básica del suelo.

b) Estabilización por combinación de suelos:

La metodología por combinación de suelos, como su propio nombre lo indica considera la combinación o mezcla del suelo existente con materiales de préstamo que mejore el suelo y permita cumplir las exigencias del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción.

c) Estabilización por sustitución de los suelos

Esta técnica está prevista para la construcción de la sub-rasante mejorada solamente con material adicionado. Puede presentarse como dos (02) situaciones, que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o sea excavado previamente y reemplazarlo por material de adición.

d) Estabilización física:

La estabilización física es aquella que implica un estudio de la granulometría, de la cohesión del ligante natural disponible y del óptimo de agua que se debe mantener en la masa por medio de la protección superficial adecuada. (Dellarosa, N., 2013)

Los suelos de grano grueso como gravas – arenas tienen una alta fricción interna lo que permiten soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como asiento del firme de una carretera ya que, al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar y no cumplir con la vida útil del pavimento. (Valle, W., 2010)

e) Estabilización química

La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. (MTC, 2014)

Hace uso de algún tipo de reacción química con los minerales presentes en la fracción fina del suelo. Intenta obtener cohesión en el suelo por medio de algún ligante hidráulico o bituminoso, cuya función también es impermeabilizar la masa de material tratado. (Dellarosa, N., 2013)

El recurso físico característicos es la aglomeración del suelo que se consigue con productos que aumentan la cohesión; aquí entran las resinas, polímeros, cemento hidráulico, cal, yeso, filler cementante, cenizas, etc. (Dellarosa, N., 2013)

Dentro de la estabilización química se pueden considerar las siguientes:

- Suelos estabilizados con cemento portland
- Suelos estabilizados con cal hidratada
- Suelos estabilizados con sales:

Construcción de una o más capas de suelo estabilizado con sales como: cloruro de sodio, cloruro de magnesio y cloruro de calcio.

2.3.1.4 Ventajas de la Estabilización

El creciente social y económico de un país, se dio por el acceso de las vías de comunicación, tanto terrestre, viales, acuáticas y aéreas, no obstante, aun con el avance tecnológico las medidas de protección y cuidado a las vías terrestres se volvieron insignificantes, interrumpiendo las comunicaciones de pueblos aledaños (Ensayos en calidad del cemento, 2020) indica en una manera práctica y sencilla la estabilización de los suelos con distintos componentes a favor del crecimiento económico y social.

- Ventajas Técnicas
 - Se aprovecha las propiedades del suelo mejorando la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad.
 - Brinda un soporte férreo a la subrasante aumentando la vida útil.
 - Fortalece la subrasante ante los componentes del cambio climático evitando así gran porcentaje de deformación
- Ventajas económicas y ambientales
 - No demanda de gastos extras en materiales
 - El suelo removido y no puesto en el desarrollo de la vía, puede ser reutilizado para el plantado de árboles.
 - Al tener buenas bases, esto implica que su resistencia será mayor por ende la durabilidad será prolongada.

2.3.2 Estabilización con cemento portland

2.3.2.1 Definición de cemento portland

El cemento portland es un conglomerante hidráulico cuya principal propiedad es la de formar masas pétreas resistentes y duraderas cuando se mezcla con áridos y agua. El endurecimiento de la mezcla ocurre transcurrido un cierto tiempo desde el momento en que se realiza el amasado. Sus principales cualidades son: moldeable, resistente, duradero; que hacen que los productos derivados del cemento tengan una gran aplicación en la construcción de edificios y obras públicas. (Barbudo, M. & Chinchón, S., 2014)

2.3.2.2 Composición del cemento portland

Según lo señalado por ASOCEM en la exposición presentada por parte del Ing. Luis Pacheco (2017), el cemento está compuesto principalmente por los minerales: óxido de calcio (CaO), la sílica (Si O₂), alúmina (Al₂ O₃) y el óxido de hierro (Fe₂ O₃).

Siendo el Clinker el componente de mayor participación para la fabricación, sus componentes son:

Componente calcáreo. La caliza (CaCO₃), representa entre 70-80% de las materias primas necesarias para fabricar el Clinker.

Componente arcilloso (silicato de aluminio hidratados), representa entre el 15-25% de las materias primas necesarias para fabricar el Clinker.

Componentes correctores, como la arena se usa para elevar el contenido de sílice, minerales de hierro y elevar el contenido de óxido de hierro.

2.3.2.3 Definición del suelo-cemento

El suelo-cemento es una mezcla de suelo pulverizado, cemento Portland y agua que, compactada a una humedad óptima y densidad máxima, produce luego de la hidratación del cemento (que se logra protegiéndolo contra la pérdida de humedad durante el periodo de curado) un material duro, durable y de bajo costo que tiene muchos usos en ingeniería. (Montejo, A., 2018)

2.3.2.4 Componentes del suelo-cemento

Agua: debe ser libre de cantidades perjudiciales de álcalis, ácidos y material orgánico. El agua potable es satisfactoria para su uso.

Suelo: como anteriormente se mencionó, prácticamente todos los suelos pueden ser estabilizados con cemento. No es necesario que sean materiales bien graduados pues la cohesión se alcanza por hidratación del cemento. Cabe mencionar que materiales mal graduados o mayor porcentaje de finos, requieren mayor contenido de cemento de allí la conveniencia de que los vacíos, estén rellenos con material sólido (grueso).

En cuanto a la variedad de materiales, es necesario destacar que es aplicable el cemento a suelos granulares fundamentalmente y mezclas de ellos, ejemplo: limos, arenas gruesas, finas y gravas o mezclas de estas fracciones. Distinguimos tres tipos de suelos:

- Arenoso y gravas: en ellos es posible efectuar un adecuado trabajo de pulverización y mezclado con cemento, observándose que la cantidad del cemento no es elevada en relación con las demás mezclas.
- Suelos arenosos: con deficiencia de partículas finas, como puede ser una arena de playa que demanda mayor cantidad de cemento. En la etapa constructiva pueden generarse problemas debido a la falta de cohesión, aunque aumenta la plasticidad de la mezcla.
- Suelos limosos y arcillosos: suelen dar lugar a problemas de pulverización y mezcla íntima, fenómeno más notorio en aquellos suelos que contienen elevada cantidad de arcilla. Generalmente cuanto más arcilloso es el suelo, más cemento es necesario para estabilizarlo además se encuentra con la dificultad de pulverizarlo, por ello, para las arcillas es poco aplicable el cemento, quedando reservado para tal fin la aplicación de la cal.

2.3.2.5 Clasificación de materiales

(MTC, 2014) indica que los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

Para determinar la dosificación de cemento según el tipo de suelo a estabilizar se consideran las siguientes, según tabla 6.

Tabla 6. Rango de Cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 – 5
A-1-b	5 – 8
A-2	5 – 9
A-3	7 – 11
A-4	7 – 12
A-5	8 – 13
A-6	9 – 15
A-7	10 – 16

Fuente: Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014)

Asimismo, en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013), indica que cualquiera que sea el material a emplear, deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración y fraguado del concreto. Adicionalmente deberá cumplir los siguientes requisitos generales:

a) Granulometría

La granulometría del material a estabilizar puede corresponder a los siguientes tipos de suelos A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7.

Además, el tamaño máximo no podrá ser mayor de 5 cm (2") o 1/3 del espesor de la capa compactada

b) Plasticidad

La fracción inferior del tamiz de 425 mm (N.º 40) deberá presentar un Límite Líquido inferior a 40 y un Índice Plástico menor de 18%, determinados según normas de ensayo MTC E 110 y MTC E 111.

c) Composición Química

La proporción de sulfatos del suelo, expresada como $SO_4^{=}$ no podrá exceder de 0,2% en peso.

d) Abrasión

Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión (Máquina de Los Ángeles) MTC E 207 no mayor a 50%.

e) Solidez

Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales y el material se encuentra a una altitud ≥ 3.000 m.s.n.m, los agregados gruesos no deben presentar pérdidas en sulfato de

magnesio superiores al 18% y en materiales finos superiores al 15%.

2.3.2.6 Ensayos para el suelo estabilizado con cemento portland

Los ensayos a realizarse al suelo estabilizado para comprobar su resistencia y por ende cumplir con la calidad requerida son los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 7. Ensayos y frecuencias para el suelo estabilizado con cemento portland

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Frecuencia	Lugar de Muestreo
Suelo Estabilizado con Cemento Portland	Granulometría	MTC E 107	750 m ³	Pista
	Índice Plástico	MTC E 111	750 m ³	Pista
	Relación Humedad Densidad	MTC E1102	750 m ³	Pista
	Compresión simple	MTC E 1101 MTC E 1103	2 muestras por día	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	Cada 250 m ²	Pista
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	2000 m ³	Cantera
	Durabilidad	MTC E 209	2000 m ³	Cantera
	Sulfatos	NTP 339.178	2000 m ³	Cantera
	pH	NTP 339.073	2000 m ³	Fuente de agua
	Sulfatos	NTP 339.074	2000 m ³	Fuente de agua
	Materia Orgánica	NTP 339.072	2000 m ³	Fuente de agua

Fuente: MTC (2013)

2.3.3 Estabilización con emulsión asfáltica

2.3.3.1 Definición de la emulsión asfáltica

(Gonzales, W., Jimenez, M. , & López, R., 2007) Define a la emulsión como una dispersión de un líquido en otro, en forma de partículas microscópicas. Siendo el tamaño de los glóbulos microscópicos de asfalto de 4 y 6 de superficie, que se localizaran disperso en agua jabonosa.

Por lo tanto, el sistema queda constituido por el agua como fase continua y las micrométricas gotas de asfalto como fase dispersa.

El asfalto por su naturaleza es hidrófobo, fenómeno que nos obliga a usar en el proceso de fabricación productos denominados "emulsificante". Su función es reducir la "Tensión superficial"; actúan elevando el área interfacial, manteniendo de esta forma a los glóbulos de asfalto dispersos. (P.1)

2.3.3.2 Composición de la emulsión asfáltica

a) Asfalto

El asfalto es un constituyente natural de la mayoría de los petróleos de los cuales puede ser extraído evaporando o destilando sustancias volátiles que contenga.

Si bien la mayoría de los asfaltos provienen de la destilación de los petróleos, también existen en la naturaleza grandes yacimientos, presentándose en forma de lagos, impregnando rocas porosas, entre las fisuras de las rocas, entre otros. Resultado de la metamorfosis de los petróleos sometidos a la acción de altas presiones y temperaturas durante el correr del tiempo. El asfalto es un material ligante, de color marrón oscuro a negro, en el cual los componentes que predominan son betunes. Químicamente está constituido por una mezcla compleja de hidrocarburos de alto peso molecular. Esta identificado como uno de los ligantes más antiguos utilizados por el hombre, por sus excepcionales cualidades adhesivas, flexibilidad, de impermeabilidad y durabilidad, además de su alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y álcalis.

Los ligantes son materiales termoplásticos que funden gradualmente al ser calentados.

b) Agua

El agua es el segundo componente en una emulsión asfáltica. Su contribución a las propiedades deseadas en el producto final no puede ser minimizada. El agua contiene minerales u otros elementos que puedan afectar a la producción de emulsiones

asfálticas estables. Consecuentemente el agua potable puede no ser adecuado para las emulsiones asfálticas.

El agua encontrada en la naturaleza puede ser inadecuada debido a impurezas, sean en solución o en suspensión coloidal. Preocupa particularmente la presencia de iones de calcio y de magnesio. Estos iones favorecen la formación de una emulsión catiónica estable. Se suele adicionar cloruro de calcio a las emulsiones catiónicas, con el objeto de aumentar la estabilidad durante el almacenamiento. En ocasiones dichos iones son perjudiciales para las emulsiones aniónicas, ello se debe a que sales de calcio y de magnesio, insolubles en agua se forman en la reacción con sales de sodio y potasio, solubles en agua, normalmente utilizadas como emulsiones. De igual forma, aniones de carbonatos y bicarbonatos pueden facilitar gracias a su efecto amortiguador, la estabilización de emulsiones, pero pueden desestabilizar emulsiones catiónicas al reaccionar con emulsiones compuestos de hidroclouros de aminos solubles en agua.

El agua que contiene partículas no se debería utilizar en la elaboración de emulsiones sin antes ser evaluadas; estas aguas pueden ser perjudiciales para las emulsiones catiónicas. Por lo general éstas están cargadas negativamente. El uso de aguas impuras puede dar un desequilibrio en los componentes de la emulsión, lo que puede afectar en forma adversa la performance o causar una rotura prematura.

c) Agentes Emulsivos

Los agentes de superficie, conocidos como emulsionantes, surfactantes o tensioactivos, contienen en su molécula uno o varios grupos hidrofílicos que pueden ser de tipo iónico o no iónico.

Se clasifican por la forma en que se disocian o ionizan en el agua. En lo que hace a la estructura, poseen un equilibrio molecular entre una larga cadena lipofílica hidrocarbonada y una cabeza polar hidrofílica. Los surfactantes son absorbidos en la interface

entre líquidos y gases o líquidos y sólidos. Tienden a concentrarse en la interface de modo que los grupos hidrofílicos se orientan hacia la fase más polar y los grupos lipofílicos hacia la fase menos polar. La molécula o ión surfactante actúa como un puente entre las dos fases.

Existen tres tipos de surfactante aniónico, no aniónico y catiónico. El agente emulsivo, empleado en combinación con un asfalto aceptable, agua de buena calidad y adecuados procedimientos mecánicos, es el factor principal en la emulsificación.

2.3.3.3 Clasificación de la emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas tienen la capacidad de vencer la tensión interfacial producida entre el agua y el asfalto, logrando dispersar el asfalto en la fase acuosa.

Según su carga eléctrica, las emulsiones asfálticas se pueden clasificar en tres categorías:

- Aniónicas, Son sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos de cadena compleja. Son aquellas de polaridad de carga negativa y descargan en el ánodo ideal (ideales para agregados calizos que ionizan positivamente).
- Catiónicas, Producto de la reacción de ácidos inorgánicos fuertes como ácidos clorhídricos, con aminas grasas. Son aquellas de polaridad de carga positiva y descargan en el ánodo (ideal para agregados silíceos que se ionizan negativamente).
- No iónicas, partículas sin carga (neutras).

Las primeras dos categorías son las más utilizadas en los proyectos viales, a pesar de que se están realizando estudios y pruebas con emulsiones no iónicas que a futuro ganaran importancia a medida que la tecnología progrese.

Asimismo, también se pueden clasificar según su velocidad de rotura, como:

- RS, Rapid-Setting o rotura rápida, designados para ser mezcladas con agregados porque no rompen al instante de entrar en contacto con el agregado. Esta cualidad permite que la mezcla sea manejable por un periodo de tiempo determinado. Se trabajan de manera adecuada con pétreos de E.A >75% y finos (Jara, S. & Angulo, A., 2018)
- MS, Medium-Setting o rotura media, se diseñan para mezclarse con agregados finos, utilizados para carpetas asfálticas en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas. Designadas para máxima estabilidad de mezclado. Estas emulsiones tienen tiempo más largos de manejabilidad para garantizar un buen mezclado con materiales densamente gradados. Se utilizan principalmente para mezclas de gradación densa, mezclas de arena y reciclados. Tienen baja viscosidad, la cual puede ser disminuida diluyendo la emulsión con agua. (Jara, S. & Angulo, A., 2018)
- SS, Slow-Setting o rotura lenta, se diseñan para mezclarse con agregados finos, utilizados para carpetas asfálticas en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas. Designadas para máxima estabilidad de mezclado. Estas emulsiones tienen tiempo más largos de manejabilidad para garantizar un buen mezclado con materiales densamente gradados. Se utilizan principalmente para mezclas de gradación densa, mezclas de arena y reciclados. Tienen baja viscosidad, la cual puede ser disminuida diluyendo la emulsión con agua. (Jara, S. & Angulo, A., 2018)

De acuerdo al Instituto del Asfalto (1993), las emulsiones RS poseen la capacidad mínima o nula para mezclarse con los agregados, las emulsiones MS se mezclan con el agregado grueso mas no con el fino, las emulsiones SS y QS son las que están diseñadas para mezclarse con el agregado fino, con la diferencia que las emulsiones QS poseen un tiempo de rotura más acelerado.

Por último, las emulsiones se identifican con distintos números y letras que hacen referencia a la viscosidad y consistencia de la base del cemento asfáltico. Siendo el valor “1” una emulsión menos viscosa que un valor “2”. Las letras “h” y “s” significan “hard” y “soft”, las cuales se incluyen en algunos grados para especificar que la base es más consistente o más blanda.

2.3.3.4 Procedimiento de la emulsión asfáltica

Consiste en separar mecánicamente el cemento asfáltico caliente en diminutos glóbulos, los cuales son dispersados en agua tratada con una pequeña cantidad de agente emulsivo. Por lo tanto, el sistema queda constituido por agua como fase continua y las micrométricas gotas de asfalto como fase dispersa. La separación mecánica del asfalto en estos pequeñísimos glóbulos de tamaño coloidal se logra mediante el uso de molinos coloidales. La ideal del funcionamiento de las emulsiones radica en que, una vez evaporada el agua, el asfalto adquiere nuevamente su consistencia original debido a que los glóbulos dispersos se vuelven a unir, quedando en condiciones de actuar como cementante de los agregados pétreos. (Villa, 2014)

2.3.3.5 Rotura de la emulsión asfáltica

Las emulsificaciones catiónicas y aniónicas son compuestos orgánicos de peso molecular relativamente elevado; su parte hidrocarbonada lineal o cíclica es soluble en el asfalto. Los emulsificantes aniónicos tienen grupos ácidos y los catiónicos grupos amínicos que se encuentran saponificados, su parte polar es soluble en el agua e hidrófila. La parte polar orgánica se dirige hacia el asfalto y su parte polar inorgánica hacia el agua; con estas 24 emulsiones iónicas, los glóbulos adquieren cargas eléctricas del mismo signo, repeliéndose entre ellos. De acuerdo con su tipo y concentración; en presencia de una superficie mineral, pasado un tiempo determinado, las emulsiones depositan sobre esa superficie una película ligante. Este fenómeno se conoce como rotura. Previamente, la emulsión pasa por un intervalo en que se concentra

su porcentaje de asfalto, convirtiéndose en una emulsión totalmente rota imposible de revivirse aun en presencia de humedad. En la Figura 1, se muestran los pasos por los que atraviesa una emulsión antes de tener la rotura completa (Villa, 2014)

2.3.3.6 Clasificación de materiales

Según el EG-2013, los suelos a estabilizar deben presentar los siguientes parámetros, tener un máximo de 10% de material pasante por el tamiz N° 200, estar limpios y no superar el 1% de su peso de materia orgánica. Su índice de plasticidad debe ser menor o igual a 9%, el tamaño máximo del agregado grueso no puede ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo-emulsión. El espesor del material estabilizado con emulsión asfáltica es como mínimo de 15 cm.

La proporción de sulfatos, expresados como $SO_4^{=}$ no podrá exceder de 6000 ppm.

Los agregados gruesos deben tener un desgaste a la abrasión no mayor a 50%. Si los materiales a estabilizar van a conformar capas estructurales, los agregados gruesos no deben presentar pérdidas en sulfato de sodio superiores al 12% y en materiales finos superiores al 10%; si se emplea sulfato de magnesio los agregados gruesos no deben presentar pérdidas superiores al 18% y en los materiales finos superiores al 15%.

Para la emulsión asfáltica, será catiónica y de rotura lenta (CSS-1h), la cual deberá cumplir lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 8. Requerimiento de emulsión asfáltica catiónica.

Características	Ensayo	CSS-1h	
		Min.	Max.
Viscosidad. Saybort Furol a 77°F (25 °C). s	MTC E 403	20	100
Estabilidad de Almacenamiento, 24-h, %*	MTC E 404		1
Carga de partícula	MTC E 407	Positivo	
Prueba de Tamiz. %	MTC E 405		0,1
Mezcla por Cemento, %	ASTM D-6935		2,0
Destilación: - Residuo, %	MTC E 401	57	
Pruebas sobre el Residuo de destilación: - Penetración, 77°F (25°C), 100 g, 5s - Ductilidad, 77°F (25°C), 5 cm/min, cm - Solubilidad en Tricloroetileno, %	MTC E 304 MTC E 306 MTC E 302	40 40 97,5	90

Fuente: MTC, 2013.

2.3.3.7 Ensayos para el suelo estabilizado con emulsión asfáltica

Los ensayos a realizarse al suelo estabilizado para comprobar la calidad requerida son los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 9. Ensayos y frecuencias para el suelo estabilizado con emulsión asfáltica

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Frecuencia	Lugar de Muestreo
Suelo	Granulometría	MTC E204	750 m ³	Pista
	Plasticidad	MTC E110	750 m ³	Pista
	Sulfatos	NTP 339.178	2000 m ³	Pista
	Materia Orgánica	AASHTO T194	2000 m ³	Pista
	Abrasión	MTC E 207	2000 m ³	Pista
	Durabilidad	MTC E 209	2000 m ³	Pista
Suelo Estabilizado con Emulsión	Contenido residuo de asfalto	MTC E 502	2 por día	Pista
	Granulometría	MTC E 204	2 por día	Pista
	Marshall	MTC E 504	2 por día	Pista
	Densidad de campo	MTC E 506 MTC E 508 MTC E 5010	Cada 250 m ²	Pista
	Espesor	MTC E 507	Cada 250 m ²	Pista
Emulsión	Según Tabla 8			Tanque/Bidón

Fuente: MTC, 2013.

2.3.4 Ensayos Estándar

2.3.4.1 Contenido de Humedad (Norma NTP 339.160 -2001)

El volumen de agua se mide y expresa en porcentaje en volumen de la mezcla original. Los aparatos y procedimiento para la realización de este ensayo se describen con detalle en los métodos AASHO T55 y ASTM D95.

2.3.4.2 Peso específico (ASTM C217)

Se emplea también como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. Todos los líquidos y la mayor parte de los sólidos sufren cambios de volumen cuando varía la temperatura. Se expansionan cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. Para fijar condiciones determinadas aplicables a un valor dado del peso específico, debe indicarse la temperatura del material y la del agua.

Así, por ejemplo, P. E. a 15,15 OC indica que la determinación se ha hecho con ambos materiales a UM temperatura de 15 °C. El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del picnómetro, descrito en los métodos AASHO T43 y ASTM D70.

2.3.4.3 Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-422, MTC 107)

Llamado también Análisis Mecánico y consistente en la determinación de la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño, pudiendo obtener así los porcentajes de piedra, grava, arena, limos y arcilla. Este análisis se hace por un proceso de tamizado (análisis con tamices) en suelos de grano grueso, y por un proceso de sedimentación en agua (análisis granulométrico por vía húmeda) en suelos de grano fino. (Polanco.A, 2004)

Para los suelos que contienen pequeña cantidad de partículas finas que deben ser separados de las partículas gruesas y que no pueden ser separados por un proceso mecánico de tamizado, se hace un prelavado inicial del suelo para remover las partículas finas; el material que queda retenido en el tamiz durante el proceso de lavado es luego secado y tamizado. Sin embargo, la parte de suelo que pasa por el tamiz en mención es analizado por la prueba del hidrómetro, la cual está basada en la ley de Stokes y corresponde básicamente a partículas arcillosas (Salazar, 2011)

2.3.4.4 Limite Líquido (ASTM D-4318, MTC E110)

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso, El valor calculado deberá aproximarse al centésimo y se realiza con material que pase el tamiz de 0.425 mm (No 40).El límite líquido como fue definido por Atterberg ha estado sujeto a distintas variaciones en su determinación. Fue Terzaghi, quien le sugirió a Casa grande en 1927, que diseñara un dispositivo mecánico que pudiera eliminar en la medida de lo posible los errores del operador en la determinación del mismo. Para la prueba del límite líquido se coloca una pasta en la copa. Se corta una ranura en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de corte estándar. Luego, con la leva operada por la manivela, se levanta la copa y se deja caer desde una altura de 10mm. El contenido de agua en porcentaje para cerrar una distancia de 12.7mm a lo largo del fondo de la ranura a los 25 golpes se define como el límite líquido. (Shuan.L, 2004)

2.3.4.5 Limite Plástico (ASTM D-4318, MTC E111)

El límite plástico es la humedad correspondiente en el cual el suelo se cuarteo y quiebra al formar pequeños rollitos ó cilindros pequeños. El ensayo se realiza con la fracción de arcilla que pasa por el tamiz de abertura 400µm(N°40), con un contenido de humedad algo superior al límite plástico. Con esta humedad será posible

formar fácilmente una bola con la arcilla sin que se resquebraje. Conjuntamente con el límite líquido, el límite plástico es usado en la identificación y clasificación de suelos (Shuan.L, 2004)

2.3.4.6 Índice de plasticidad

Los límites líquido y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo, así como para la identificación del mismo. Casagrande (1932) estudio la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Con base en los resultados de pruebas, propuso una carta de plasticidad que muestra la figura. La característica importante de esta carta es la línea A empírica dada por la ecuación: $IP = 0.73(LL-20)$. la línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos orgánicos. las gráficas de los índices de plasticidad contra límites líquidos para las arcillas inorgánicas se encuentran arriba de la línea A y aquellas para limos inorgánicos se hayan debajo de la línea A. los limos orgánicos se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de compresibilidad media. Las arcillas orgánicas se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad. La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es la base de la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos.

Debe notarse, además que una línea llamada línea U se encuentra arriba de la línea A. la línea U es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido para cualquier suelo encontrado hasta ahora. La ecuación para la línea U se da como: $IP=0.9(LL-8)$. Podemos ver en la Figura 22 como se derivan las formulas según la carta de plasticidad de Casagrande. (Aliaga, F. & Soriano, C., 2019)

2.3.4.7 Equivalente de Arena (ASTM D-2419, MTC-E114)

Debido a que una buena cimentación de un camino necesita la menor cantidad de finos posible, sobre todo de arcillas, que son los materiales que en contacto con el agua causa un gran daño al pavimento, pues es necesario saber la cantidad de finos que contienen los materiales que serán utilizados en la estructura del pavimento es la adecuada, por tal motivo es necesario el plantear una manera fácil y rápida que nos arroje dichos resultados; sobre todo cuando se detectan los bancos de materiales. Para realizarlo, se separa la sección arenosa del suelo mediante el tamiz Nro. 4 y se introduce un volumen de 90cm³ de la muestra en una probeta cilíndrica de 32mm de diámetro y 430mm de longitud, graduada de 2 en 2 mm. A continuación, se introducirá una espesa disolución de trabajo formada por cloruro cálcico, glicerina y formaldehído diluidos en agua destilada, dejando reposar la mezcla durante 10m in. Seguidamente, el conjunto se agitará de forma normalizada, 90 ciclos en 30 segundos, con un recorrido de unos 20cm para conseguir una mezcla íntima. Posteriormente, se dejará reposar durante un tiempo de 20 min. (MTC, 2000).

2.3.4.8 Contenido Sales Solubles Totales (MTC E219)

El ensayo establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas.

Una muestra de agregado se lava continuamente con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales, la presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al tener presencia de sales, forman precipitados fácilmente visibles.

2.3.4.9 Partículas Chatas y Alargadas (ASTM D-4791, MTC E223)

Es un método de determinación de los porcentajes de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso, las cuales pueden interferir con la consolidación y dificultar la colocación de los materiales; es

decir, provee el medio para verificar si se cumple con las especificaciones que limitan tales partículas o, para determinar la forma característica del agregado grueso.

2.3.4.10 Porcentaje de Caras de Fractura (ASTM D-5821, MTC E210)

El ensayo abarca la determinación del porcentaje, en masa o cantidad, de una muestra de agregado grueso que contiene partículas fracturadas que reúnen requerimientos especificados.

Posee dos propósitos, el primero de maximizar el esfuerzo cortante mediante incremento de fricción inter-partícula tanto en las mezclas de agregados sueltos o compactados y el otro es suministrar estabilidad a los tratamientos de superficies de agregados y proporcionar fricción incrementada por la textura para los agregados usados en los pavimentos de superficies granulares.

2.3.4.11 Clasificación e identificación de suelo

a) Clasificación AASHTO

Sistema MSHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte). Este método, divide a los suelos en dos grandes grupos: Una formada por los suelos granulares y otra constituida por los suelos de granulometría fina. Y estos a su vez son clasificados en sub grupos, basándose en la composición granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad. (Mora.S, 1998)

b) Clasificación SUCS

Este sistema, como la clasificación anterior, divide a los suelos en dos grandes grupos: granulares y finos. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas se retienen en el tamiz # 200, y finos, si más de la mitad de sus partículas, pasa el tamiz# 200. (Mora.S, 1998)

2.3.5 Ensayos Especiales

2.3.5.1 Ensayo de Proctor modificado (ASTM D-1557, MTC-E115)

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie³ (2 700 kN-m/m³)

Es la densificación de los suelos mediante la aplicación de energía mecánica, existe también un cambio en el contenido de humedad y la gradación del suelo. Uno de los factores importantes en la compactación es el contenido de humedad, la densidad seca máxima es mayor cuando menor es la diferencia entre el contenido de agua de compactación y el contenido de agua óptimo (Salazar, 2011)

2.3.5.2 California Bearing Ratio (CBR) (ASTM 1883, MTC E132)

El CBR (California Bearing Ratio) fue propuesto en 1929 por los ingenieros T.E. Stanton y O.J. Porter, del departamento de carreteras de Estado de California. El método CBR se ha generalizado y es uno de los más empleados para el cálculo de pavimentos. (Salazar, 2011) Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. • Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub-base y de afirmado.

2.3.5.3 Abrasión los Ángeles (ASTM C-131, MTC-E207)

El ensayo de desgaste de abrasión se emplea para medir la resistencia de los áridos al desgaste o a la abrasión'. Se carga el tambor con una

cantidad fija de áridos cuya granulometría es la que más se aproxima a la que se pretende usar de 7 granulometrías normalizadas, así como un peso normalizado de esferas de acero que han de actuar como carga abrasiva. A continuación, se hace dar al tambor 500 vueltas, después de lo cual se extrae el material y se determina el porcentaje de material que pasa por el tamiz número 12, que se define como porcentaje de desgaste.

La elevada resistencia al desgaste indicada por un bajo porcentaje de pérdidas por abrasión es una característica deseable de los áridos que han de emplearse en la construcción de pavimentos asfálticos. La maquinaria y procedimientos para la realización de este ensayo se detallan en los métodos AASHO T96 y ASTM C131. (Velázquez)

2.3.5.4 Durabilidad del agregado fino y grueso (ASTM C-88, MTC-E209)

El ensayo determina la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Es una medida realizada a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal que la soluciones cubra toda la muestra. Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar.

2.3.5.5 Índice de Durabilidad (MTC E214)

El ensayo calcula un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos como la arcilla; por consiguiente, asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y el carácter de material arcilloso que puede ser generado en un agregado cuando se somete a degradación mecánica; es decir, proporciona una prueba de diagnóstico rápido para la evaluación de la calidad de una fuente de agregado.

Un índice de durabilidad mínimo ha sido especificado para prohibir el uso de un agregado, en varias aplicaciones de construcción,

propensas a degradación y consecuente generación de finos de comportamiento arcilloso.

2.4 Definición de términos básicos

De acuerdo al Glosario de términos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), se define los siguientes términos:

- AASTHO: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
- ASTM: American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
- MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
- CBR: California Bearing Ratio, valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza aplicada a una masa de suelo.
- Cemento: Es un producto obtenido de la pulverización del Clinker portland con la adición eventual de yeso natural.
- Dosificación: Proceso de medición por peso o volumen de los ingredientes que conforman la mezcla.
- Estabilización: proceso físico o químico, mediante el cual se mejora las propiedades mecánicas de un suelo.
- IMD: índice medio diario
- Límite líquido (L.L.): Contenido de agua entre el estado plástico y líquido de un suelo.
- Límite plástico (L.P.): Contenido de agua entre el estado plástico y el semisólido.
- Suelos estabilizados: son suelos pobres o inadecuados de baja estabilidad a los cuales es necesario adicionarles un estabilizador.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica se optimizan de acuerdo a la dosificación usada, según la bibliografía del año 2011 al 2020.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland mejoran para caminos de bajo volumen de tránsito.
- b) Las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento estabilizado con emulsión asfáltica mejoran para caminos de bajo volumen de tránsito.
- c) Las propiedades mecánicas con mayor nivel de mejoramiento son de la estabilización con emulsión asfáltica.

3.2 Variables

3.2.1 Definición conceptual de las variables

- Variable Independiente

Estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica: Estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades.

Dimensiones

X1: Estabilización con cemento portland

X2: Estabilización con emulsión asfáltica

- Variable Dependiente

Propiedades mecánicas de la base estabilizada: Describen el comportamiento de los suelos bajo esfuerzos inducidos y cambios del medio ambiente

3.2.2 Operacionalización de las variables

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad De Medida	Escala	Instrumento	Herramienta
Variable Dependiente									
Estabilización con Cemento Portland Y Emulsión Asfáltica	Estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades	Mediante las la estabilización ya sea física o química se debe lograr obtener las características requeridas por el ASTM D 1241	X1: Mejoramiento con cemento portland	Dosificación de cemento portland Tipo I	Porcentual	%	Cuantitativa continua	Artículos, tesis nacionales e internacionales	DG - 2018 EG - 2013 Manual de Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos
			X2: Mejoramiento con emulsión asfáltica	Dosificación de emulsión asfáltica	Porcentual	%	Cuantitativa continua		
Variable Dependiente									
Propiedades Mecánicas De La Base Granular Estabilizada	Describen el comportamiento de los suelos bajo esfuerzos inducidos y cambios del medio ambiente	Según los ensayos requeridos en el ASTM D 1241 se pueden determinar o medir las propiedades mecánicas de una base o subbase	Dimensional	Máxima Densidad Seca	Numérico	gr/cm3	Cuantitativa continua	Ensayos de laboratorio	ASTM D-1557
			Adimensional	Optimo Contenido de Humedad	Porcentual	%	Cuantitativa continua		ASTM D-1557
			Adimensional	CBR	Porcentual	%	Cuantitativa continua		ASTM D-1883
			Dimensional	Resistencia a la compresión simple	Numérico	kg/cm2	Cuantitativa continua		MTC E 1108
			Dimensional	Resistencia a la tracción indirecta	Numérico	kg/cm2	Cuantitativa continua		MTC E 207.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel

4.1.1 Método de investigación

El método de estudio es deductivo, ya que mediante la información de investigaciones anteriores se analizarán los resultados obtenidos para ambas estabilizaciones, llegando a determinar su aplicabilidad en caminos de bajo volumen.

4.1.2 Orientación de investigación

La orientación de nuestra investigación es aplicada, porque del análisis de la información recopilada se determinará su aplicación para caminos de bajo volumen.

4.1.3 Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación es cualitativo, porque se utiliza la recolección de datos de las investigaciones realizadas anteriormente.

4.1.4 Fuente de información

En esta investigación la fuente de información es retrolectivo, ya que recopilaremos información de fuentes secundarias existentes como tesis, libros y/o artículos con fines similares al estudio.

4.1.5 Tipo de la investigación

La investigación es de tipo descriptiva, porque se realizó en base a investigaciones anteriores, a fin de recopilar información de los resultados obtenidos mediante la aplicación de cemento portland y emulsión asfáltica para mejorar las propiedades mecánicas de la base del pavimento.

4.1.6 Nivel de la investigación

La presente investigación es descriptiva, ya que está orientada a describir el nivel de mejoramiento que sufren las propiedades de la base granular del pavimento.

Así mismo, también es una investigación explicativa, porque se describen los resultados obtenidos del mejoramiento con cemento portland y emulsión asfáltica de las diferentes investigaciones analizadas.

4.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, transversal y retrospectiva, porque se utilizaron los resultados de investigaciones anteriores de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica.

4.3 Población y muestra

La población son todas las tesis e investigaciones anteriores de la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica.

La muestra de nuestra investigación son los resultados obtenidos respecto a las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

En la presente investigación se usaron técnicas de recopilación de datos basados en tesis anteriores entre los años 2015 al 2020, libros teóricos, papers, manuales y normas nacionales. Los instrumentos de recolección de datos fueron las investigaciones.

4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Las tesis nacionales utilizadas en la investigación han sido aprobadas por la SUNEDU y las internacionales por los entes reguladores de su país, los manuales y normas nacionales aprobadas por el colegio de ingenieros del Perú.

4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos

El procedimiento para la recolección de datos fue la búsqueda bibliográfica, revisión y análisis, estudio de los procedimientos usados para la estabilización con cemento portland o emulsión asfáltica y finalmente la aplicación de normativas vigentes para caminos de bajo volumen de tránsito.

4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos de la investigación están basadas en recopilar, clasificar y analizar la información, determinando el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento y así recomendar su aplicación en caminos de bajo volumen.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Resultados de la investigación

A modo de ordenar las tesis que analizaremos en la presente se realizó la siguiente tabla a modo de asignar un número a cada tesis

Tabla 10. Relación de tesis analizadas

N°	Nombre de Tesis	Autores
1	Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento portland para el proyecto de conservación vial Puno Tacna Tramo Tarata – Capazo – Mazocruz	De La Torre, M.
2	Estudio Comparativo del Mejoramiento de la Base Aplicando Estabilizadores: Emulsión Asfáltica, Cal y Cemento -Carretera Cañete- Chupaca: Tramo Km 152+000 - 158+000	Ccora, J. Montenegro, H.
3	Estudio Comparativo del Mejoramiento de la Subrasante y Base de la Carretera Cañete - Chupaca, Tramo: Km 220+000 - Km 240+000	Laurente, Y.
4	Análisis Comparativo de Estabilización con Cemento Portland y Emulsión Asfáltica en Bases Granulares	Aliaga, F. Soriano, C.

Elaboración Propia

5.1.1 Resultados de ensayos del material de cantera

A continuación, se presentarán los resultados de las propiedades del material de cantera de cada una de las tesis en análisis.

Tabla 11. Resultados de Material de Cantera. Tesis de Grado. De La Torre, M. (2018)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de Cantera				
NÚMERO	1			
AUTOR	De la Torre, M.			
CARACTERÍSTICA				
Cantera	Poma	Liwini	Calachaca	Mazocruz
Clasificación SUCS	GM	GP-GM	GP-GM	GM
Clasificación AASHTO	A-1-a ₍₀₎	A-1-a ₍₀₎	A-1-a ₍₀₎	A-1-a ₍₀₎
Límite Líquido	16.4	21	19	17
Límite Plástico	NP	NP	NP	NP
Índice de Plasticidad	NP	NP	NP	NP
Contenido de humedad	7.5%	5.0%	8.2%	6.7%
Abrasión	27.2%	33.1%	22.6%	26.4%
Equivalente de arena	26.3%	56.0%	41.0%	73.0%
C.B.R. al 100%	51.4%	86.5%	68.2%	83.1%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.054	2.061	1.925	1.978
Optimo Contenido de humedad	9.6%	9.6%	7.6%	9.3%
Materia Orgánica	1.02%	1.03%	1.14%	0.92%

Elaboración Propia

Tabla 12. Resultados de Material de Cantera. Tesis de Grado. Ccora, J & Montenegro, H. (2011)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de Cantera		
NÚMERO	2	
AUTOR	Ccora, J & Montenegro, H.	
CARACTERÍSTICA		
Clasificación SUCS	GC	
Clasificación AASHTO	A-2-4	
Límite Líquido	30.17%	
Límite Plástico	20.59%	
Índice de Plasticidad	9.59%	
Contenido de humedad	1.80%	
Abrasión	19.28%	
C.B.R. al 100%	0.1" de Penetración	67.50%
	0.2" de Penetración	80.00%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.265	
Optimo Contenido de Humedad	7.20%	
Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm ²)	3.70	

Elaboración Propia

Tabla 13. Resultados de Material de Cantera. Tesis de Grado. Laurente. (2011)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de Cantera		
NÚMERO	3	
AUTOR	Laurente, Y.	
CARACTERÍSTICA		
Clasificación SUCS	GW-GC	
Clasificación AASHTO	A-1-a	
Límite Líquido	26.21%	
Límite Plástico	20.28%	
Índice de Plasticidad	5.93%	
Contenido de humedad	2.05%	
Abrasión	26.08%	
C.B.R. al 95%	0.1” de Penetración	31.50%
	0.2” de Penetración	41.50%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.281	
Optimo Contenido de Humedad	5.46%	

Elaboración Propia

Tabla 14. Resultados de Material de Cantera. Tesis de Grado. Aliaga, F. & Soriano, C. (2019)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de Cantera		
NÚMERO	4	
AUTOR	Aliaga, F. & Soriano, C.	
CARACTERÍSTICA		
Clasificación SUCS	GP-GM	
Clasificación AASHTO	A-1-a	
Límite Líquido	22.00%	
Límite Plástico	18.40%	
Índice de Plasticidad	3.60%	
Equivalente de Arena	45.0%	
Contenido de humedad	6.10%	
C.B.R. al 100%	0.1” de Penetración	65.10%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.292	
Optimo Contenido de Humedad	6.30%	

Elaboración Propia

Las tablas 11, 12, 13 y 14; da a conocer los resultados de los ensayos de las tesis que se analizaron y de las cuales se identificó las que fueron aplicadas a bases granulares. Como se puede observar los tipos de suelos analizados son en su mayoría suelos bien graduados.

5.1.2 Resultados de ensayos de la base estabilizada con emulsión asfáltica

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados a las bases estabilizadas con emulsión asfáltica.

Tabla 15. Resultados de Material de Cantera estabilizado con emulsión asfáltica. Tesis de Grado. De La Torre. (2018)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de cantera estabilizado con emulsión asfáltica					
NÚMERO		1			
AUTOR		De la Torre, M.			
CARACTERÍSTICA					
Tipo de emulsión		Emulsión catiónica de rotura lenta			
Cantera		Poma	Liwini	Calachaca	Mazocruz
Porcentaje de emulsión		3.3%			
Cambios de estabilidad		38%	41.5%	49.4%	30.5%
Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm ²)	Seca	2.374	2.559	2.367	2.697
	Húmeda	1.916	1.410	1.366	1.639

Elaboración Propia

Tabla 16. Resultados de Material de Cantera estabilizado con emulsión asfáltica. Tesis de Grado. Ccora, J. & Montenegro, H. (2011)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de cantera estabilizado con emulsión asfáltica		
NÚMERO		2
AUTOR		Ccora, J & Montenegro, H.
CARACTERÍSTICA		
Tipo de emulsión		Emulsión catiónica de rotura lenta
Porcentaje de emulsión		4.3%
C.B.R. al 100%	0.1" de Penetración	58.00%
	0.2" de Penetración	76.50%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)		2.222
Optimo Contenido de Humedad		7.40%
Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm ²)		4.73
Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm ²)	Seca	1.55
	Húmeda	1.25
Estabilidad Marshall (kg)		519.0

Elaboración Propia

Tabla 17. Resultados de Material de Cantera estabilizado con emulsión asfáltica. Tesis de Grado. Laurente, Y. (2011)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de cantera estabilizado con emulsión asfáltica		
NÚMERO		3
AUTOR		Laurente, Y.
CARACTERÍSTICA		
Tipo de emulsión		
Porcentaje de emulsión		5.5%
C.B.R. al 95%	0.1” de Penetración	60.00%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)		2.29
Optimo Contenido de Humedad		8.23%

Elaboración Propia

Tabla 18. Resultados de Material de Cantera estabilizado con emulsión asfáltica. Tesis de Grado. Aliaga, F. & Soriano, C. (2019)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de cantera estabilizado con emulsión asfáltica		
NÚMERO		4
AUTOR		Aliaga, F. & Soriano, C.
CARACTERÍSTICA		
Tipo de emulsión		Emulsión catiónica de rotura lenta
Porcentaje de emulsión		5.5%
C.B.R. al 100%	0.1” de Penetración	75.30%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)		2.281
Optimo Contenido de Humedad		5.8%

Elaboración Propia

Las tablas 15,16,17,18; se presentan los resultados de los ensayos de las tesis que se analizaron de las cuales fueron para el análisis de estabilización con emulsión asfáltica donde los ensayos principales son el de CBR y la resistencia a la comprensión simple.

5.1.3 Resultados de ensayos de la base estabilizada con cemento portland

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados a las bases estabilizadas con cemento portland.

Tabla 19. Resultados de Material de Cantera estabilizado con cemento portland. Tesis de Grado. De La Torre. (2018)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de cantera estabilizado con cemento portland				
NÚMERO	1			
AUTOR	De la Torre, M.			
CARACTERÍSTICA				
Cantera	Poma	Liwini	Calachaca	Mazocruz
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)				
2% de Cemento	15.5	18.6	14.9	16
3% de Cemento	30	32.5	28.9	30.6
4% de Cemento	46.1	47.8	44.3	49

Elaboración Propia

Tabla 20. Resultados de Material de Cantera estabilizado con cemento portland. Tesis de Grado. Ccora, J. & Montenegro, H. (2011)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de cantera estabilizado con cemento portland		
NÚMERO	2	
AUTOR	Ccora, J & Montenegro, H.	
CARACTERÍSTICA		
Porcentaje de cemento	5.0%	
C.B.R. al 100%	0.1" de Penetración	193.0%
	0.2" de Penetración	167.0%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.234	
Optimo Contenido de Humedad	8.28%	
Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm ²)	22.5	
Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm ²)	Seca	6.71
	Húmeda	4.70

Elaboración Propia

Tabla 21. Resultados de Material de Cantera estabilizado con cemento portland. Tesis de Grado. Laurente, Y. (2011)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de cantera estabilizado con cemento portland		
NÚMERO	3	
AUTOR	Laurente, Y.	
CARACTERÍSTICA		
Porcentaje de cemento	4.0%	
C.B.R. al 95%	0.1” de Penetración	193.0%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.29	
Optimo Contenido de Humedad	8.23%	
Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm ²)	23.39	

Elaboración Propia

Tabla 22. Resultados de Material de Cantera estabilizado con cemento portland. Tesis de Grado. Aliaga, F. & Soriano, C. (2019)

RESULTADOS DE ENSAYOS – Material de cantera estabilizado con cemento portland		
NÚMERO	4	
AUTOR	Aliaga, F. & Soriano, C.	
CARACTERÍSTICA		
Porcentaje de cemento	5.0%	
C.B.R. al 95%	0.1” de Penetración	153.50%
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.303	
Optimo Contenido de Humedad	7.10%	

Elaboración Propia

Las tablas 19,20,21,22; se presentan los resultados de los ensayos de las tesis que se estudiaron para el análisis de estabilización con cemento portland donde los ensayos principales son el de CBR y la resistencia a la compresión simple.

5.2 Análisis e interpretación de los resultados

A continuación, se muestra los cuadros de resumen para las diferentes propiedades mecánicas analizadas.

Tabla 23. Cuadro comparativo de los resultados de CBR de material de cantera y estabilizado con emulsión asfáltica.

N° de Tesis	% de Emulsión	CBR (%)		Nivel de mejoramiento
		Material de cantera	Material estabilizado	
2	4.3 %	67.5	58	-14.07%
3	5.5 %	31.5	60	90.47%
4	5.5 %	65.1	75	15.20%

Elaboración propia

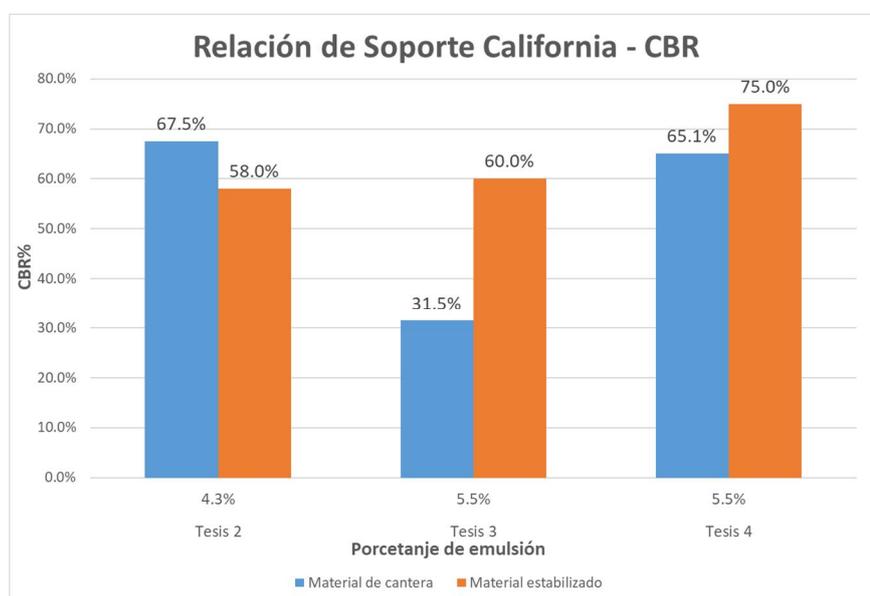


Figura 4. Comparación gráfica del material de cantera y estabilizado con emulsión asfáltica.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 23 y figura 4, se presenta la comparación de los porcentajes de CBR obtenidos antes y después de la estabilización con emulsión asfáltica, en la que se identifica la disminución del porcentaje de CBR para la tesis 2; por lo que se analizaron las propiedades iniciales del material de cantera identificando que dicho material no cumplía con las propiedades mecánicas necesarias para la estabilización, provocando que la estabilización con emulsión asfáltica no obtenga los resultados esperados. Por el contrario, en las tesis 3 y 4 si se obtuvieron mejoras del material del 15 al 90%, el cual cumple con la Guía complementaria para la selección del tipo de estabilizador.

Asimismo, los resultados del ensayo de CBR al 100% de la MDS del material más emulsión asfáltica no obtuvieron el 80% mínimo requerido para su uso como base granular para caminos de bajo volumen de tránsito, según MTC (2014).

Tabla 24. Cuadro comparativo de los resultados de CBR de material de cantera y estabilizado con cemento portland.

N° de Tesis	% de Cemento	CBR (%)		Nivel de mejoramiento
		Material de cantera	Material estabilizado	
2	5.0 %	67.5	193	185.9%
3	4.0 %	31.5	193	512.7%
4	5.2 %	65.1	153.5	135.8%

Elaboración propia

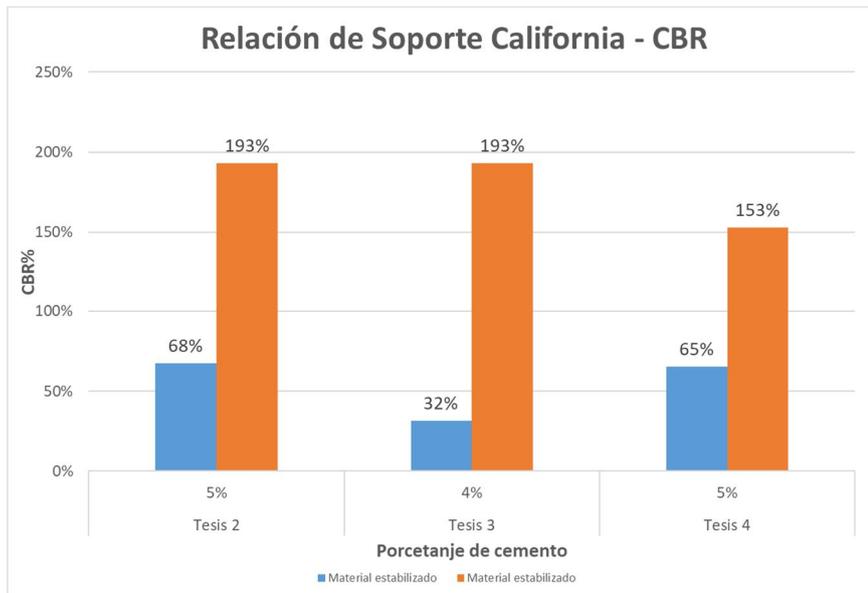


Figura 5. Comparación gráfica del material de cantera y estabilizado con cemento portland para valores de CBR.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24 y figura 5, se presenta la comparación de los porcentajes de CBR obtenidos antes y después de la estabilización con cemento portland, en la que se identifican que el nivel de mejoramiento es superior a la estabilización con emulsión asfáltica, ya que las propiedades del material de cantera de casa una de las tesis cumple con los parámetros para la utilización de cemento portland como aditivo estabilizador.

A diferencia de los resultados de CBR al 100% de la MDS, los valores para la estabilización con cemento portland obtienen valores superiores al 100%, siendo

aptos para su uso incluso en carreteras de primera clase y por ende en caminos de bajo volumen de tránsito.

Tabla 25. Cuadro comparativo de los resultados de MDS de material de cantera y estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica.

N° de Tesis	MDS (gr/cm ³)		
	Material de cantera	Material estabilizado con emulsión	Material estabilizado con cemento
2	2.265	2.220	2.234
3	2.281	2.290	2.29
4	2.292	2.281	2.303

Elaboración propia

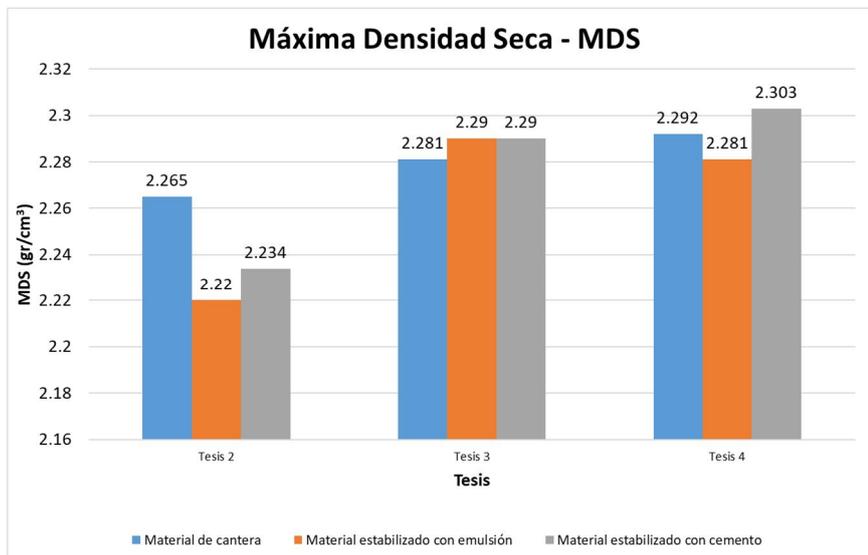


Figura 6. Comparación gráfica del material de cantera, estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica, para valores de MDS.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Cuadro comparativo de los resultados de OCH de material de cantera y estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica.

N° de Tesis	OCH (%)		
	Material de cantera	Material estabilizado con emulsión	Material estabilizado con cemento
2	7.20	7.40	8.28
3	5.46	8.23	8.23
4	6.30	5.80	7.1

Elaboración propia

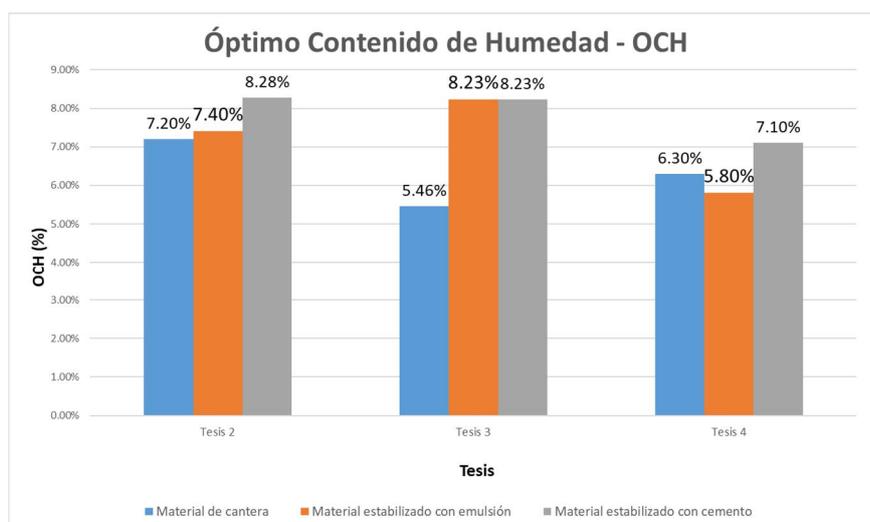


Figura 7. Comparación gráfica del material de cantera, estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica, para valores de OCH.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Cuadro de resultados del ensayo a la compresión simple del material estabilizado con cemento portland.

N° de Tesis	% de Cemento	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)	
1	2.0%	15.5	16.25
		18.6	
		14.9	
		16.0	
	3.0%	30.0	30.5
		32.5	
		28.9	
		30.6	
	4.0%	46.1	46.8
		47.8	
		44.3	
		49.0	
2	5.0%	22.5	22.5
3	4.0%	23.39	23.39

Elaboración propia

En la tabla 27 se presenta los resultados del ensayo de compresión simple realizado al material estabilizado con cemento portland, en que se puede ver que para la tesis 1 para una dosificación de 2% no llega a 1.8 Mpa (18.36kg/cm²), resistencia mínima requerida según el método de la Portland Cement Association (PCA) para el diseño de la estabilización con cemento portland.

Tabla 28. Cuadro de resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta del material estabilizado con emulsión asfáltica.

N° de Tesis	% de Emulsión	Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm ²)			
		Seca		Húmeda	
1	3.3%	2.374	2.499	1.916	1.583
		2.559		1.410	
		2.367		1.366	
		2.697		1.639	
2	4.3%	1.55		1.25	

Elaboración propia.

En la tabla 28, se presenta el resumen de los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la tracción para el material estabilizado con emulsión asfáltica.

5.3 Contrastación de hipótesis

La contrastación de la hipótesis se realizará mediante la comparación entre la hipótesis planteada y los resultados obtenidos en la investigación.

5.3.1 Hipótesis específica 1

Hipótesis alterna (H_{i1}): Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland mejoran para caminos de bajo volumen de tránsito.

Hipótesis nula (H_{01}): Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland no mejoran para caminos de bajo volumen de tránsito.

Se analizaron los resultados de las diferentes tesis donde aplican la estabilización, en los cuales se obtuvo mejoras significativas de las propiedades mecánicas de la base granular al ser estabilizadas con cemento portland. Los valores de CBR se incrementan en algunos casos hasta 500% de su valor sin estabilización.

Según los manuales del MTC, las propiedades mecánicas de los suelos estabilizados con cemento portland cumplían los requerimientos mínimos para su aplicación, por lo que se comprobó que la estabilización obtuvo niveles de mejoramiento superiores.

Por lo tanto, si se valida la hipótesis específica 1.

5.3.2 Hipótesis específica 2

Hipótesis alterna (H_{i2}): Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con emulsión asfáltica mejoran para caminos de bajo volumen de tránsito.

Hipótesis nula (H_{02}): Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con emulsión asfáltica no mejoran para caminos de bajo volumen de tránsito.

Se analizaron los resultados de las diferentes tesis donde aplican la estabilización, en los cuales se obtuvo mejoras de las propiedades mecánicas de la base granular al ser estabilizadas con emulsión asfáltica, sin embargo, en la tesis 2 el valor de CBR disminuye, lo que probablemente signifique que el tipo de emulsión aplicada no sería la adecuada para el tipo de suelo y sus características.

Sin embargo, según la guía complementaria para la selección del tipo de estabilizador que brinda el MTC, el índice de plasticidad para el tipo de suelo usado en la tesis 2 debió ser $\leq 8\%$ y no 9.59% como lo muestra la tabla 12; lo que pudo ocasionar la reducción del CBR ya que el material no cumplía con los parámetros para usar la emulsión asfáltica como aditivo estabilizador.

Por lo tanto, se valida parcialmente la hipótesis específica 2.

5.3.3 Hipótesis específica 3

Hipótesis alterna (H_{i3}): Las propiedades mecánicas con mayor nivel de mejoramiento son de la estabilización con emulsión asfáltica.

Hipótesis nula (H_{03}): Las propiedades mecánicas con mayor nivel de mejoramiento no son de la estabilización con emulsión asfáltica.

Del análisis realizado se obtuvo que el tipo de estabilización que obtiene mayores niveles de mejoramiento de las propiedades mecánicas son donde se usa el cemento portland, esta diferencia es significativa ya que, en la estabilización con emulsión no se obtuvieron mejoras y por el contrario las propiedades mecánicas se redujeron.

El MTC en sus manuales presenta requerimientos mínimos para el material granular a estabilizar según el uso que se quiera destinar, para el caso de base granular se ve que dichos requerimientos no se cumplieron en completamente ya que valores como el índice de plasticidad para el tipo de suelo usado en la tesis 2 debió ser $\leq 8\%$, perjudicando los resultados de CBR al 100% y presentando una reducción del mismo. Por otro lado, a pesar de los materiales en las tesis 3 y 4 si cumplían con los requerimientos mínimos no obtuvieron valores de CBR mayores a 80% para su uso como base granular para caminos de bajo volumen, descartando así su aplicación y contemplando la necesidad de una mayor dosificación para obtener lo requerido, lo que requeriría una mayor inversión.

Por lo tanto, se valida parcialmente la hipótesis específica 2.

Por lo tanto, no se valida hipótesis específica 3

5.3.4 Hipótesis general

Hipótesis alterna (H_i): Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica se optimizan de acuerdo a la dosificación usada, según la bibliografía del año 2011 al 2020.

Hipótesis nula (H_0): Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica no se optimizan de acuerdo a la dosificación usada, según la bibliografía del año 2011 al 2020.

Según el análisis de las tesis se tiene que las propiedades mecánicas de la base granular mejoran al estabilizarlas siguiendo los parámetros de los manuales del MTC, respecto a las dosificaciones y valores mínimos requeridos para la estabilización. Sin embargo, los mejores resultados se obtienen al estabilizar con cemento portland, ya que los materiales usados para la estabilización cumplieron los requerimientos mínimos para la aplicación de cemento portland.

Por lo tanto, la hipótesis general se valida.

CONCLUSIONES

1. Según el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular de la estructura del pavimento en el caso de la Tesis 2 se ve que al estabilizar con emulsión esta tiene un resultado negativo de un 14% de pérdida de CBR esto podría deberse a un mal ensayo o a la dosificación quien puede hacerle perder estabilidad a la mezcla base granular-emulsión, en el caso de las tesis 3 se puede observar que existe un nivel de mejoramiento del 90% del CBR con respecto al material de forma natural, en la tesis 4 un mejoramiento de 15% con respecto al material de cantera , en la tesis 3 y 4 se ve un claro mejoramiento de las propiedades del CBR , esto puede ser debido a una buena dosificación , un buen ensayo marshal en donde se encuentra poca pérdida de estabilidad de la mezcla. En el caso de estabilización de base granular con cemento portland se encontraron niveles de mejoramiento hasta por encima del 100% en todas las tesis llegando hasta un 512% de aumento de CBR en la tesis 3.
2. La emulsión asfáltica aumenta mínimamente la resistencia a la compresión y brinda un considerable aumento en la impermeabilidad, pudiendo usarse para concretos asfálticos más que para bases granulares. Si se requiere poco aumento de resistencia al esfuerzo a la compresión podemos usar la emulsión para la estabilización. La emulsión asfáltica catiónica mejora la capacidad de soporte de un suelo al cumplir la función de ligante entre sus partículas, pero un aumento en exceso de este es perjudicial para el material generando la fricción interna y haciéndole perder capacidad portante.
3. El cemento portland, es muy útil para suelos con mucha cantidad de finos, por aumentar en gran cantidad el porcentaje de CBR En el caso de estabilización con cemento portland se lograron obtener grandes mejoras hasta un 500% de aumento de CBR, con esto se puede concluir para el caso de querer mejorar las propiedades mecánicas de un material granular de base y obtener una mayor capacidad se recomienda el uso de cemento portland.
4. Según los parámetros mínimos de el material a ser usado como base granular se puedo determinar que la estabilización con cemento portland cumple ampliamente lo requerido en comparación con la emulsión asfáltica que no alcanzo los valores de CBR

mínimos para caminos de bajo volumen y en algunos casos hubo disminución del mismo; por lo que se concluye con recomendar la estabilización con cemento portland de acuerdo al nivel de mejoramiento obtenido en la investigación.

5. En los ensayos de compresión simple para la estabilización con cemento portland el manual de carreteras señala que se debe garantizar a los 7 días de curado una resistencia mínima de 18.355 kg/cm² donde el único que no cumple el porcentaje de cemento portland aplicado a la estabilización es de 2% para la tesis 1.

RECOMENDACIONES

1. En vista que, según la investigación realizada, recomendamos la aplicación de la estabilización con cemento portland, ya que se obtienen mejores niveles de mejoramiento en las propiedades mecánicas, en comparación con la estabilización con emulsión asfáltica que como se pudo observar en algunos casos el valor de CBR disminuye en relación con el material de cantera.
2. El uso de agentes estabilizadores como el cemento portland, emulsión asfáltica, entre otros que existen en el mercado, permite que los costos de inversión para la construcción, rehabilitación y conservación de carreteras reduzcan considerablemente, por lo que se recomienda su aplicación en caminos de bajo volumen de tránsito los cuales pertenecen en su mayoría a la red vial vecinal o departamental que son los de mayor longitud y los que facilitan la accesibilidad a las principales ciudades del país.
3. Se recomienda el ensayo químico para descartar que existan elementos nocivos como: sulfatos, materia orgánica, u otros de tal manera que se encuentren dentro del rango permitido, porque estos pueden perjudicar considerablemente el mejoramiento con algún estabilizante seleccionado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aliaga, F., & Soriano, C. (2019). *Análisis comparativo de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en bases granulares*. Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Amies, J. (2006). *Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto*, 11(43), págs. 6-7.
- Arenas, R. (2019). *Diseño de base estabilizada con emulsión*. Trujillo.
- Ayala, E., & Gallardo, E. (2015). *Estabilización de la base de un pavimento rígido con cemento portland tipo I utilizando las canteras EL Gavilán, Don Lucho y El río Chonta, Cajamarca, 2015*. Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte.
- Barbudo, M. , & Chinchón, S. (2014). *Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland*. España: Universidad de Alicante.
- Caparó, E., & Escalante, L. (2015). *Estabilización de Suelos con Emulsión Asfáltica In Situ en la Av. Prolongación Andrés Avelino Cáceres, Análisis Comparativo*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Ccora, J., & Montenegro, H. (2011). *Estudio comparativo del mejoramiento de la base aplicando estabilizadores: emulsión asfáltica, cal y cemento - carretera Cañete - Chupaca: Tramo Km 152+000 - Km 158+000*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- De la Torre, M. (2018). *Evaluación de diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento portland*. Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola.
- Dellarosa, N. (2013). *Análisis de la fatiga de bases estabilizadas con cemento en rutas de bajo tránsito*. Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Chile.
- Díaz, P., & Ortíz, C. (2019). *Diseño y análisis brinda el MTC, el índice de plasticidad para el tipo de suelo usado en la tesis 2 debió ser $\leq 8\%$ y no 9.59% como lo muestra la tabla 12; lo que pudo ocasionar la reducción del CBR ya que el material no cumplía con los parámetros para usar la emulsión asfáltica como aditivo estabilizador*.
- Por lo tanto, se valida parcialmente la hipótesis específica 2.1 de bases estabilizadas con cemento tipo UG (uso general) y MCH (moderado calor de hidratación)*. Tesis de grado, Universidad Santo Tomás, Bogotá.

- Gonzales, W., Jimenez, M. , & López, R. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas de bases en caminos de baja intensidad en El Salvador*. Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Jara, S., & Angulo, A. (2018). *Análisis y aplicación de emulsiones asfálticas catiónicas para la estabilización en el tramo de 5 km entre el caserío Jose Galves y la ciudad de Otuzco, provincia de Otuzco, departamento La Libertad*. Universidad Privada Antenor Orrego, Lima.
- Laurente, Y. (2011). *Estudio comparativo del mejoramiento de la subrasante y base de la carretera Cañete - Chupaca Tramo: Km 220+00 - Km 240+000*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Montejo, A. (2018). *Estabilización de suelos*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Mora.S. (1998). *Mecánica de Suelos y Diseño de Pavimentos*.
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013*.
- MTC. (2014). *MANUAL DE CARRETERAS: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima.
- MTC. (2018). *MANUAL DE CARRETERAS: Diseño Geométrico DG-2018*. Lima.
- Pacheco-Rivas, I. (s.f.). *about hause*. Obtenido de <https://about-haus.com/estudio-de-suelo/>
- Pineda, A., & Riaño, F. (2019). *Estudio de una mezcla de base granular con cemento y solid soil para una resistencia a la compresión de 2.5 MPa*. Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Polanco.A. (2004). *Practicas de laboratorio mecanica de suelos 1*.
- Quiroz, W. (2017). *Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR*. Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- redmls. (s.f.). Obtenido de <https://redmls.pe/blog/habilitacion-urbana-que-es-y-cuales-son-los-requisitos/>
- Rodriguez, R., Castaño, V., & Martinez, M. (2001). *Emulsiones Asfálticas*. Sanfandila, México: Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte.
- S.A.S, E. I. (s.f.). Estabilizacion de suelos para pavimentos.

- Salas, D. (2017). *Estabilización de suelos con adición de cemento y aditivo terrasil para el mejoramiento la base del Km 11+000 al Km 9+000 de la carretera Puno – Tiquillaca – Mañazo*. Tesis de pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
- Salazar, J. (2011). *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano. Métodos y Materiales, Tomo 1*.
- Shuan.L. (2004). *Laboratorio de Mecánica de Suelos*. Universidad Nacional de ingeniería.
- Suxe, R. (2018). *Aplicación de emulsión asfáltica para estabilizar el afirmado de la carretera Bagua Grande - Buena Vista, Región Amazonas 2017*. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo.
- Valle, W. (2010). *Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos*. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Velázquez, M. (s.f.). *Manual del Asfalto*. España: URMO, S. A. DE EDICIONES .
- Vera, J. (2015). *Mejoramiento con emulsiones asfálticas de base granular, para pavimentos en la región Lambayeque*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Villa, V. (2014). *Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas aplicado en colegio FAP Manuel Polo Jiménez, Urb.San Gabino-Santiago de Surco. (Tesis para para optar el Título de Ingeniero Civil)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú. .
- Villacorta, F. L. (s.f.). *Diseño de una estructura de pavimento perpetuo*. Universidad de Costa Rica.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cuál es el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular de la estructura del pavimento en la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en caminos de bajo volumen de tránsito, según la bibliografía del año 2011 al 2020?	Determinar el nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular de la estructura del pavimento en la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en caminos de bajo volumen de tránsito, según la bibliografía del año 2011 al 2020, en el año 2021.	Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland y emulsión asfáltica se optimizan de acuerdo a la dosificación usada, según la bibliografía del año 2011 al 2020.	Estabilización con Cemento Portland Y Emulsión Asfáltica	X1: Mejoramiento con cemento portland	Porcentual %	<u>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:</u> Método: Deductivo Orientación: Aplicada Enfoque: Cuantitativo <u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u> Descriptivo <u>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</u> Descriptivo - Explicativo
				X2: Mejoramiento con emulsión asfáltica	Porcentual %	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente			
a) ¿En qué medida mejoran las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland en caminos de bajo volumen, según la bibliografía del año 2011 al 2020?	a) Analizar los resultados de las propiedades mecánicas de la base granular estabilizado con cemento portland en caminos de bajo volumen de tránsito, según la bibliografía del año 2011 al 2020.	a) Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con cemento portland mejoran para caminos de bajo volumen de tránsito.	Propiedades Mecánicas de la Base Granular Estabilizado		- Máxima densidad seca - Óptimo contenido de humedad - CBR - Resistencia a la compresión simple - Resistencia a la tracción indirecta	<u>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</u> No experimental - Transversal - Retrospectivo <u>POBLACIÓN</u> Tesis e investigaciones anteriores, manuales, normas y papers. <u>MUESTRA</u> Resultados de obtenidos de las propiedades mecánicas durante la estabilización <u>TÉCNICA</u> Recopilación, clasificación y análisis de la información <u>INSTRUMENTOS</u> Investigaciones realizadas entre los años 2015 a 2020
b) ¿En qué medida mejoran las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento estabilizado con emulsión asfáltica en caminos de bajo volumen, según la bibliografía del año 2011 al 2020?	b) Analizar los resultados de las propiedades mecánicas de la base granular estabilizado con emulsión asfáltica en caminos de bajo volumen de tránsito, según la bibliografía del año 2011 al 2020.	b) Las propiedades de la base granular del pavimento estabilizado con emulsión asfáltica mejoran para caminos de bajo volumen de tránsito.				
c) ¿Cuál es la mejor estabilización en caminos de bajo volumen de tránsito de acuerdo al nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular?	c) Proponer su aplicación en caminos de bajo volumen de tránsito de acuerdo al nivel de mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular estabilizada.	c) Las propiedades mecánicas con mayor nivel de mejoramiento son de la estabilización con emulsión asfáltica.				

Elaboración propia