



APORTE ESTRUCTURAL DE CAPA BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND TIPO I VERSUS EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA PARA VÍAS URBANAS

STRUCTURAL CONTRIBUTION OF GRANULAR BASE LAYER STABILIZED WITH TYPE I PORTLAND CEMENT VERSUS CATIONIC ASPHALT EMULSION FOR URBAN ROADS

Loyza Esmít, Surita Gil¹; Rosa Isela, Fernández Huamán²; Leonel, Chahuares Paucar³

Recibido 23/12/2022: Aprobado: 11/02/2023

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica242.2>

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo comparar el aporte estructural de la capa base granular estabilizada con cemento *Portland tipo I* versus emulsión asfáltica catiónica *CSS-1H* en vías del conjunto habitacional Micaela Bastidas, cuya área corresponde a Enlace I, II, III, IV Etapa y en la UPIS Villa Hermosa, distrito Veintiséis de Octubre del departamento de Piura, provincia de Piura. Como parte del análisis se realizaron ensayos de laboratorio al material granular extraídos de la cantera Bastian, con el fin de obtener las características del material base. De tal manera, que para la evaluación comparativa del aporte estructural de la base granular se ejecutó el cálculo del diseño para pavimentos flexibles de acuerdo con el método AASHTO 93; según el manual de carreteras sección suelos y pavimentos, estabilizados con cemento *Portland tipo I*, emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta *CSS-1H* y sin estabilizar. Los resultados obtenidos indicaron que según las dosificaciones estimadas al 3%, 5% y 7% de adición de cemento y la emulsión asfáltica mejora las condiciones del material base granular. En conclusión, la evaluación del aporte estructural el cemento *Portland tipo I* es el agente estabilizador de mejor comportamiento, incluso en dosificaciones muy bajas, lo cual se traduce en pavimentos de espesores competentes en la práctica constructiva.

Palabras clave: *material granular estabilizado; pavimentos flexibles; cemento Portland tipo I; emulsión asfáltica catiónica CSS-1H*

¹Loyza Esmít, Surita Gil; Ingeniero Civil, egresado de la Universidad Peruana Unión, Perú, Municipalidad Provincial Huancabamba, Correo: loyzasurita@upeu.edu.pe; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8408-8200>

²Rosa Isela, Fernández Huamán; Ingeniero Civil, egresado de la Universidad Peruana Unión, Perú, Empresa privada, ENRIQUE SAC, Correo: iselafernandez@upeu.edu.pe; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0021-1855>

³Leonel, Chahuares Paucar; Mg. Ingeniería Civil, Director de Escuela de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, Perú, Correo: leonel_cp@upeu.edu.pe; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9649-8450>

ABSTRACT

This study aims to compare the structural contribution of the granular base layer stabilized with type I Portland cement versus CSS-1H cationic asphalt emulsion on roads of the Micaela Bastidas housing complex, whose area corresponds to Enlace I, II, III, IV Stage and in UPIS Villa Hermosa, Veintiséis de Octubre district, department of Piura, province of Piura. As part of the analysis, laboratory tests were carried out on the granular material extracted from the Bastian quarry, in order to obtain the characteristics of the base material. In such a way, that for the comparative evaluation of the structural contribution of the granular base, the calculation of the design for flexible pavements was executed according to the AASHTO 93 method; according to the road manual section soils and pavements, stabilized with Portland cement type I, cationic asphalt emulsion CSS-1H and without stabilization. The results obtained indicated that according to the estimated dosages at 3%, 5% and 7% of cement addition and the asphalt emulsion improves the conditions of the granular base material. In conclusion, according to the evaluation of the structural contribution, type I Portland cement is the stabilizing agent with the best behavior, even in very low dosages, which translates into pavements of competent thicknesses in construction practice.

Keywords: *stabilized granular material; flexible pavements; Type I Portland cement; CSS-1H cationic asphalt emulsion*

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú, se puede encontrar caminos que no cumplen con las condiciones mínimas de pavimentación, es decir que se encuentra en mal estado, ya sea por falta de mantenimiento, mala calidad de la base, efectos climáticos, incremento de carga; presentan deterioros y/o deformaciones, los cuales reducen su capacidad de carga, y esto a su vez puede ocasionar accidentes [1]. Es así como, un buen diseño de estas vías es necesario para garantizar el correcto desempeño y su durabilidad en el tiempo de vida útil de esta infraestructura [2]. Al analizar los materiales que forman parte de las bases o subbases de los pavimentos flexibles, en ocasiones no cumplen con las propiedades exigidas por la norma, especialmente en cuanto a su composición granulométrica, plasticidad y resistencia [3]. A fin de resistir las altas tensiones producidas por el tráfico, existen variantes para obtener resistencias más elevadas en la que los materiales granulares son tratados con diferentes aglomerantes o ligantes asfálticos [4], que mejore las características de permeabilidad, de plasticidad, durabilidad y resistencia mecánica a las bases granulares [5] [6].

Es ello que, en esta línea de investigación, de acuerdo con la problemática existente, se comparó el aporte estructural de la capa base granular estabilizada con cemento *Portland tipo I* versus emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta *CSS-1H*, para ello se determinó las dosificaciones del contenido de cemento y de la emulsión para la capa base granulares. La investigación está basada en resultados de laboratorio, cuya finalidad fue la de analizar las características físicas y propiedades mecánicas del material granular que ayudó a visualizar y comprender el sentido de la propuesta; finalmente de acuerdo al estudio de campo en el

conjunto habitacional Micaela Bastidas cuya área corresponde a Enace I, II, III, IV Etapa y en la UPIS Villa Hermosa, distrito Veintiséis de Octubre del departamento de Piura, provincia de Piura, se debe considerar los estudios de mecánica de suelos y estudios de tráfico para el procedimiento de cálculos en el diseño. Por lo tanto, la evaluación comparativa del aporte estructural en la capa base granular de una estructura típicamente flexible, se diseñó para un pavimento sin carpeta asfáltica, en la cual el diseño estructural está dentro de un marco con características resistentes y eficiencia económica.

2. DESARROLLO

2.1. Estabilización de las Bases Granulares con Cemento Portland y Emulsión Asfáltica Cationica en Pavimentos Asfálticos

La estabilización de los materiales base en los pavimentos es un proceso común que se aplica para aumentar la resistencia, la estabilidad, la capacidad de carga y las propiedades mecánicas de la capa, la cual diseñada de forma correcta y construida con suficiente espesor evita que la subrasante se deforme excesivamente [7]. Dicha capa está situada inmediatamente debajo de la carpeta, tiene como función absorber la mayor parte de los esfuerzos verticales, de modo que su rigidez o resistencia a la deformación bajo las solicitaciones repetidas del tránsito corresponden con la intensidad del tránsito pesado [4] [5]. Esto significa que la capa base, como difusor de tensiones, juega un papel estructural importante en el buen desempeño del pavimento, donde se debe evaluar la calidad y composición del pavimento e identificar sus defectos para poder controlarlos adecuadamente [6].

Por otro lado, para analizar los materiales que forman parte de las bases o subbases en los pavimentos flexibles deben cumplir con las características exigidas por el manual de carreteras según Tabla 1[8].

Tabla 1. *Requerimientos granulométricos para base granula. Fuente: [8]*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm (3/8")	30-55	40-75	50-85	60-100
4,75 mm (N°4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm (N°10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm (N°40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm (N°200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Cabe mencionar que, la función principal en pavimentos flexibles es proporcionar capacidad de soporte de carga, la cual mejora el pavimento al agregar rigidez y resistencia a la fatiga,

además de proporcionar un manto más grueso para distribuir la carga por todo el pavimento [7]. Como segundo punto, deben cumplir con las características del agregado grueso y agregado fino o sea, los materiales retenidos en la malla N°4 y a los materiales que pasan por la malla N°4 respectivamente. Además, el material de base granular deberá cumplir con las siguientes características como se indica en la Tabla 2 [9].

Tabla 2. Valor Relativo de soporte, CBR en base granular Fuente: [9]

Tipo de Carreteras	Porcentaje
Para Carreteras de Segunda Clase, Tercera Clase, Bajo Volumen de Tránsito; o, para Carretera con Tráfico en ejes equivalentes $\leq 10 \times 10^6$	Mínimo 80%
Para Carreteras de Primera Clase, Carreteras Duales o Multicarril, Autopista; o, Tráfico en ejes equivalentes $> 10 \times 10^6$	Mínimo 100%

Nota: Referido al 100% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y una penetración de 0,1" (2,5mm)

Estabilización con cemento Portland

La estabilización con cemento *Portland* aumenta sus propiedades de resistencia mecánica, de plasticidad y es estable bajo las condiciones de clima a que está expuesto el pavimento [5]; la ventaja es que permite el empleo de los suelos existentes mejorando sus características hasta el grado deseado [10]. Además, la estabilización del cemento es rápida, no necesita tiempo de suavizado y proporciona una plataforma sin lixiviación [11], por ello, en el “Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos” [8] los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipo A-1, A-2 y A-3 con finos de plasticidad baja o media, cuyo $LL < 40$ y su $IP < 18$ [8]. La estabilidad al cemento dependiendo de las características del diseño, se pueden utilizar métodos más específicos o aproximados para determinar el contenido de cemento requerido para la estabilización [12].

El American Concrete Institute (ACI) presenta sofisticadas dosificaciones, dado que muestra rangos típicos de cemento para los distintos tipos de suelo como muestra en la Tabla 3 [12].

Tabla 3. Requerimiento de cemento para distintos tipos de suelo. Fuente: [12]

Clasificación de suelos AASHTO	Clasificación de suelos ASTM (SUCS)	Rango típico de cemento (% peso)
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	3-5
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5-9
A-3	SP	7-11
A-4	CL, ML	7-12
A-5	ML, MH, CH	8-13
A-6	CL, CH	9-15
A-7	MH, CH	10-16

En el caso de la investigación realizada por [13], utilizó diferentes condiciones experimentales siendo estos porcentajes que varía entre 7 y 12%; así mismo lo expuesto en [14], emplea el



valor óptimo de cemento *Portland* estabilizado en suelo base a un 3%.

Estabilización con Emulsión Asfáltica Cationica

Por otro lado, se encuentra las características del material granular estabilizado con emulsión asfáltica, en función de la importancia de la vía, del nivel de tránsito, del tipo de pavimento y de la posición de la capa dentro de la estructura del pavimento; para mejorar las propiedades de resistencia, rigidez y contracción de la base, emplea ampliamente en la capa base del pavimento la estabilización con emulsión asfáltica [15]. Asimismo, según el manual carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos, el suelo más adecuado para estabilizar con emulsiones asfálticas es un suelo granular, de grano bajo-fino, de plasticidad reducida, con una ductilidad inferior al 20% que pasa la malla N°200, es decir con un $LL < 30$ y con un $IP < 10$. Teniendo en cuenta que, para terminar el contenido tentativo de emulsión, el manual de suelos y pavimentos presenta un requerimiento referencial para la estabilización con emulsión asfáltica [8], según se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. *Guía complementaria referencial para la selección del tipo de estabilizador. Fuente: [8]*

Tipo de Estabilización	Normas Técnicas	Suelo	Dosificación	Curado	Observaciones
Emulsión	ASTM D2397 o AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla N°200	4-8%	Mín. 24 h	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo con resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois
		$\leq 10\%$ $IP \leq 8\%$ Equiv. arena $\geq 40\%$ $CMO < 1,0\%$ $Sulfatos (SO_4)^{2-} < 0,6\%$ Abrasión $< 50\%$			

2.2. Diseño de Pavimentos Asfálticos según AASHTO 93

Los pavimentos flexibles están compuestos por capas de capa de rodadura, capa base, subbase y subrasante [16]. De hecho, el diseño se basa en un modelo desarrollado para calcular el espesor en función de los parámetros del pavimento, la carga del vehículo y la resistencia de la subrasantes.

Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento

La carga de tránsito que soportará el pavimento se expresa en términos de Ejes de Carga Equivalente (EAL), que es el número de aplicaciones equivalentes a una carga por eje simple de 80 kN (18000 lb) en una pasada de un eje dado [8].

Las características de la sub-rasante sobre la que se asienta el pavimento

De acuerdo con el manual de carreteras, sección suelos y pavimentos del manual de carreteras

(MTC), existe una correlación entre la clasificación del suelo y el valor CBR para determinar la calidad de la subrasante. Por tanto, la imprimación con CBR igual o superior al 6% se considera como material base adecuado [8].

Tabla 5. Categoría de subrasante. Fuente:[8]

Categoría de subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante inadecuada	CBR<3%
S ₁ : Subrasante insuficiente	De CBR≥3% A CBR<6%
S ₂ : Subrasante regular	De CBR≥6% A CBR<10%
S ₃ : Subrasante buena	De CBR≥10% A CBR<20%
S ₄ : Subrasante muy buena	De CBR≥20% A CBR<30%
S ₅ : Subrasante excelente	CBR≥30%

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se estableció el proceso visualizado en la Figura 1.

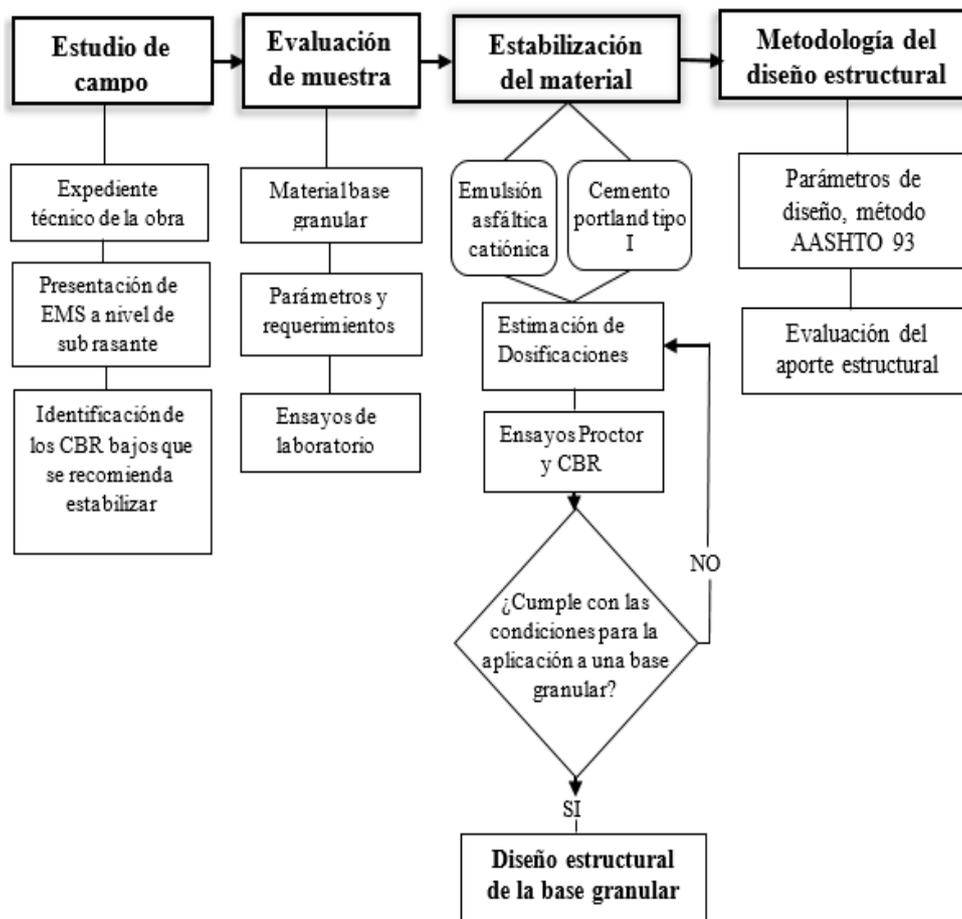


Figura 1. Proceso metodológico de la investigación. Fuente: los autores

De acuerdo con la ubicación en la zona de estudio, los pavimentos necesitan mejorar su comportamiento estructural en la base granular para pavimentos, el conjunto habitacional

Micaela Bastidas cuya área corresponde a Enace I, II, III, IV Etapa y en la UPIS Villa Hermosa, Distrito Veintiséis De Octubre – Piura-Piura. Este proyecto cuenta con un área de 783000,00m², entre las cotas absolutas de 35 a 42 msnm. Actualmente las calles a intervenir se encuentran deterioradas y/o sin pavimento, ante la problemática de la zona, la investigación presenta un diagrama de los procesos que se desarrollaron durante los estudios de campo, evaluación de la muestra, estabilización de la muestra con cemento *Portland tipo I* y emulsión asfáltica catiónica *CSS-IH*, cuyas dosificaciones cumplen con las condiciones para estabilizar las bases granulares, finalmente se realizó el diseño estructural de cada capa base granular mediante el método AASHTO 93.

3.1. Estudio de campo

Las cargas de tráfico vehicular impuestas al pavimento

Dónde, para estimar el número de ejes de carga equivalentes, se ha utilizado la información alcanzada en el estudio de tráfico, en el cual se han registrado aforos en 10 estaciones distribuidas convenientemente a lo largo de la zona de trabajo. Esta información ha sido proyectada a 10 y 20 años, tal como se indica en la Tabla 6. El diseño ha sido realizado para 20 años con la finalidad de tener una sección uniforme, se ha seleccionado el valor crítico obtenido en el estudio de tráfico, EE 1.8X106.

Tabla 6. Proyección de EE a partir de aforos de tráfico. Fuente: los autores

Estación	Actual		A 10 Años		A 20 Años		EAL Promedio	
	IMDA	EAL	IMDA	EAL	IMDA	EAL	10Años	20Años
E1	396	3,63E+04	448	4,20E+05	507	9,97E+05		
E2	1633	4,01E+04	1798	4,65E+05	1983	1,10E+05	3,87E+05	9,20E+05
E3	814	2,40E+04	898	2,78E+05	992	6,60E+05		
E4	1443	7,12E+04	1602	8,24E+05	1783	1,96E+05	8,15E+05	1,93E+06
E5	1537	6,95E+04	1703	8,05E+05	1889	1,91E+05		
E6	2168	9,39E+04	2400	1,09E+05	2666	2,58E+05	7,48E+05	1,78E+06
E7	1971	3,52E+04	2164	4,08E+05	2378	9,69E+05		
E7	1971	3,52E+04	2164	4,08E+05	2378	9,69E+05		
E8	1279	2,38E+04	1405	2,76E+05	1543	6,55E+05	2,75E+05	6,53E+05
E9	1801	1,83E+04	1972	2,12E+05	2159	5,02E+05		
E10	1420	1,77E+04	1557	2,05E+05	1707	4,86E+05		

Las características de la sub-rasante sobre la que se asienta el pavimento

En la evaluación de sub-rasante detallada en el estudio de mecánica de suelos (EMS) se ha encontrado información detallada de clasificación de suelos correspondiente a 30 calicatas. Teniendo en cuenta características similares en la zona, se han agrupado por tipos de suelo y se ha determinado el valor soporte relativo CBR de 13 de ellas, cuya relación de soporte se

usado para 0,1" de penetración. Del registro de datos se han agrupado los resultados de acuerdo con la categoría de subrasante establecidas en la Tabla 7. En este caso hay un 20% de resultados en el límite de suelo regular (S2) a pobre (S1) con CBR de 6,80%, indicando que los suelos de sub-rasante de bajo aporte sean estabilizados.

Tabla 7. Resumen de los promedios obtenidos de CBR de las calicatas encontradas. Fuente: los autores

Subrasante	CBR diseño	Calicatas	No.	Porcentaje
S ₄	24,5	C5, C9, C12 (C11), C13, C19, C20, C22, C23, C24	11	37%
S ₃	11,5	C4 (C1, C2, C3), C7 (C6), C26, C27, C28, C29, C30	11	37%
S ₂	6,8	C14, C15, C16, C17, C18, C21	6	20%
S ₁	3,7	C10, C25	2	7%

3.2. Evaluación de Muestra

El material granular para la capa base fue extraída de la cantera [BASTIAN CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.](#) Siendo este evaluado mediante ensayos de laboratorio en [E & ZU INGENIEROS E.I.R.L.](#) presentado en Tabla 8, el material presentan una granulometría continua y según los requerimientos de una de las franja granulométricas para bases granulares.

Tabla 8. Granulometría del material granular. Fuente: los autores

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret.	%Ret. Parc.	%Ret. Ac.	% Pasante
3"	76,200	-	-	-	-
2 1/2"	63,500	-	-	-	100
2"	50,800	35,0	0,3	0,3	99,7
1 1/2"	38,100	135,0	1,3	1,7	98,3
1"	0,000	395,0	3,9	5,5	94,5
3/4"	19,050	1230,0	12,0	17,5	82,5
1/2"	12,700	1865,0	18,2	35,8	64,2
3/8"	9,525	711,0	7,0	42,7	57,3
1/4"	6,350	-	-	-	-
#4	4,760	1285,0	12,6	55,3	44,7
#8	2,360	-	-	-	-
#10	2,000	90,1	10,0	65,3	34,7
#20	0,840	113,6	12,7	78,0	22,1
#40	0,420	69,8	7,8	85,70	14,3
#60	0,250	35,1	3,9	-	-
#80	0,180	-	-	-	-
#100	0,150	23,1	-	89,6	10,4
#200	0,075	20,9	2,3	94,5	-
<#200	FONDO	48,9	5,4	100,0	-
Fracción	-	401,5	-	-	-
TOTAL		10235,0			

La muestra del material granular, se utilizó para modificar sus propiedades mecánicas, físico químicas al aplicar la estabilización con cemento *Portland tipo I* y emulsión asfáltica catiónica, buscando obtener, a partir de la experiencia y resultados de ensayos de laboratorio, la evidencia necesaria para validar el proyecto de investigación [17].

3.3. Características de los Agentes Estabilizantes

Cemento Portland tipo I

El cemento portland es uno de los agentes con más utilización en el mundo para estabilizar suelos, este tiene la ventaja de que cuando el cemento se hidrata, la mezcla se transforma en un material duro y rígido [5]. Por ello se utilizó cemento *Portland Tipo I* como estabilizante para las mezclas granulares debido a su alta resistencia, requisito de acuerdo a la norma NTP334.090 [18].

Emulsión asfáltica catiónica

La emulsión asfáltica está compuesta por tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante [19], es un producto obtenido al dispersar la fase bituminosa en otra acuosa en la que se cargan las partículas, en este caso el líquido que la forma es una fase discontinua y el agua es una fase continua. Las propiedades dependen en gran medida de los productos químicos utilizados como emulsionante [3] [4] [6]; regularmente, la emulsión asfáltica utilizada en la estabilización de la base es catiónica, este tipo de emulsión tiene tiempo de trabajabilidad para tener una mezcla dispersa con mayor estabilidad [15] [20]. La emulsión utilizada en nuestro estudio se preparó con un ligante duro *CSS-IH* [7] [21], según el manual de emulsión asfáltica muestra algunas de sus características [22]. La emulsión asfáltica *CCS-IH* está compuesta por agua y asfalto, es de tipo catiónica de rotura lenta que tiene un residuo asfáltico más duro, las emulsiones catiónicas el grupo polar y electrovalente de hidrocarburos es parte del ion cargado positivamente cuando el compuesto se ioniza [19].

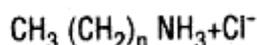


Figura 1. Compuesto catiónico de la emulsión asfáltico. Fuente: [19]

3.4. Diseño para Pavimentos Flexibles según AASHTO 93

Metodología de diseño estructural AASHTO 93

Este procedimiento está basado en modelos que fueron desarrollados en función de la performance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la subrasante, el propósito del modelo es el cálculo del Número Estructural requerido (SN_r), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el período de diseño establecido en el proyecto [8]. La ecuación de cálculo para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (1)$$

Donde:

- Número acumulado de Ejes Simples Equivalentes (W18)
- Módulo resiliente (Mr)
- Confiabilidad (%R)
- Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr)
- Desviación Estándar combinada (So)
- Índice de serviciabilidad presente (PSI) conformado por serviciabilidad inicial (Pi), serviciabilidad final o terminada (Pt) y la variación de serviciabilidad (ΔPSI)
- Número estructural propuesto (SNR)

Por otro lado, para el cálculo de la variable módulo resiliente se aplica la ecuación (2), que correlaciona el porcentaje de CBR de la subrasante, base y subbase [23]. Siendo esta ecuación utilizada por [1] [24].

$$Mr = 2555 CBR^{0.64} \quad (2)$$

Como ya se había expresado anteriormente, la variable del módulo resiliente para determinar el número estructural SN (calculado) en función de los materiales que componen cada capa del paquete estructural. La expresión que liga el número estructural con los espesores de capa se detalla en la ecuación 3.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 x m_2 + a_3 D_3 x m_3 \quad (3)$$

Para determinar el valor del código estructural SN (diseño), es necesario calcular los coeficientes estructurales de la capa superficial, la capa de base y subbase (a_1, a_2, a_3) y los espesores de capa (D_1, D_2, D_3) correspondiente, tal como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Consideraciones para encontrar el número estructural. Fuente: [23]

Número Estructural (SN)	Coefficientes Estructurales	Dimensionamiento de Espesores
Carpeta Asfáltica	$a_1 = 0,184 \times \ln(Mr_1) - 1,954$	$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$
Base	$a_2 = 0,249 \times \log(Mr_2) - 0,997$	$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$
Sub-base	$a_3 = 0,227 \times \log(Mr_3) - 0,839$	$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$

En la Tabla 10, los coeficientes de drenaje (M_2 y M_3) para bases y subbases granulares se asume el valor de 1,00 [8].

Tabla 10. Valores recomendados de coeficientes de drenaje (m) para la base y sub-base. Fuente: los autores

Calidad del Drenaje	P= % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	15-5%	5%-25%	Mayor que 25%
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,30	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muy pobre	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó ensayos de laboratorio siguiendo los procedimientos como se indica en el manual de suelos y pavimentos [8]; es decir, tiene que cumplir con los parámetros de una base granular descritas anteriormente, los resultados de los ensayos del material granular de la cantera Bastian ubicado en la provincia de Sullana del departamento de Piura se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de ensayo realizado a la base granular. Fuente: los autores

Material Granular	Propiedades y características	Requerimiento	Unidad	Ensayos de Laboratorio
Granulometría	Clasificación SUC	-	-	GW-GM
	Clasificación AASHTO	-	-	A-1-a
Ensayos del Agregado fino	Límite Líquido	-	%	18,69
	Límite Plástico	-	%	17,66
	Índice de Plasticidad	4% máx	%	1,03
	Equivalente de Arena	35% mín	%	39,00
Ensayos del agregado grueso	Partículas con una cara fracturada	80% mín	%	82,30
	Partículas con dos caras fracturadas	40% mín	%	64,30

El material granular de acuerdo con el análisis granulométrico se describe como una grava bien gradada con limo y arena, de acuerdo a Atterberg presenta un límite líquido de 18,69%, límite plástico de 17,66% e índice de plasticidad de 1,03%, requerimientos para la aplicación de estabilización con cemento *Portland tipo I* correspondientes a la clasificación A-1, A-2 o A-3, además que los límites sean $LL < 40$ y $IP < 18$; así mismo, para la aplicación de estabilización con emulsión asfáltica cationica, las condiciones son que $LL < 30$ y $IP < 10$. Por otro lado, los parámetros como el equivalente de arena con 39%, las partículas con una cara fracturada con 82,30% y las partículas con dos caras fracturadas con 64,30% son porcentajes mayores al requerimiento mínimo.

4.1. Resultados del Material Estabilizado con Emulsión Asfáltica Catiónica CCS-1H y Cemento Portland Tipo I

El material debe ser mezclado con las cantidades adecuadas para tener un rendimiento óptimo de manera que, aumente considerablemente sus propiedades físico-mecánicas del material granular de la cantera Bastian. Se muestra en la Tabla 12, los resultados de la evaluación preliminar del material granular, la aplicación de la estabilización del material cemento Portland tipo I y material emulsión asfáltica catiónica CCS-1H.

Tabla 12. Resultados de ensayos de la mezcla material cemento y material emulsión. Fuente: los autores

Ensayos	Material cantera	Material emulsión asfáltica catiónica CCS-1H			Material cemento Portland Tipo I			
		Und	3%	5%	7%	3%	5%	7%
Contenido Óptimo de Humedad	%	6,65	6,60	6,40	6,32	6,60	6,20	6,58
Máxima Densidad Seca	gr/cm ³	2,249	2,169	2,262	2,210	2,166	2,221	2,243
CBR al 95% de la MDS	%	62,72	66,38	70,27	84,35	83,77	121,03	135,99
CBR al 100% de la MDS	%	69,98	74,82	84,35	96,90	99,39	139,37	150,37

La máxima densidad seca de acuerdo a los diferentes valores de humedad permite encontrar el óptimo contenido de humedad en la Tabla 12, presenta la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad del material de forma establecida y sin estabilizar. Así mismo, el ensayo CBR es un indicador de la capacidad portante del suelo, en este caso de los materiales granulares, el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos sugiere que para el caso de bases granulares se debe cumplir entre el 80% y 100% compactada al 100% de la máxima densidad seca. El ensayo CBR al 100% de la MDS muestra como resultado el 69,98% del material granular indicando una base pobre en resistencia, sin embargo, el material-emulsión asfáltica catiónica a un porcentaje del 3,5 y 7%, no está tan lejano del margen con un 74,82%, 84,35% y 96,90% respectivamente, mientras que la resistencia del material cemento Portland tipo I es suficiente para una base de pavimento con un 99,39%, 139,37% y 150,37 al 3,5 y 7% proporcionalmente.

A continuación, se muestra un resumen general de los resultados de CBR al 100% y 95% de compactación. En la Figura 2, el valor de CBR aumenta conforme aumenta el porcentaje de emulsión asfáltica catiónica y cemento Portland tipo I, como el manual de carreteras de suelos, geología, geotecnia y pavimentación, estipula que la base utilizada en las estructuras debe ser de valor de soporte CBR igual o mayor al 80, valores mayores al especificado, esto

se obtuvo en las mezclas con porcentajes entre el 3,5 y 7%.

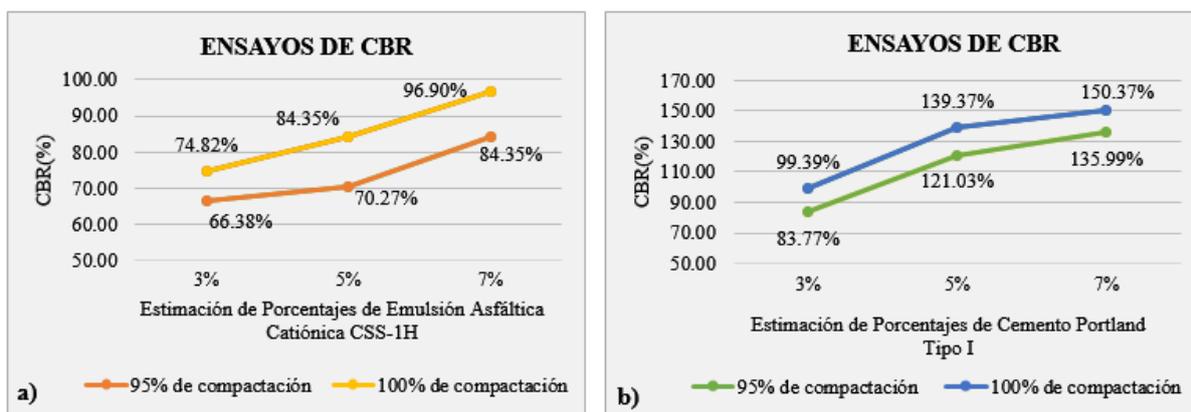


Figura 2. Porcentajes de CBR al 95 y 100% de compactación: a) emulsión asfáltica catiónica CSS-IH, b) cemento Portland tipo I. Fuente: los autores

Por consiguiente, en la Figura 3, se detalla la relación CBR y el porcentaje del contenido de emulsión asfáltica catiónica y cemento Portland tipo I.

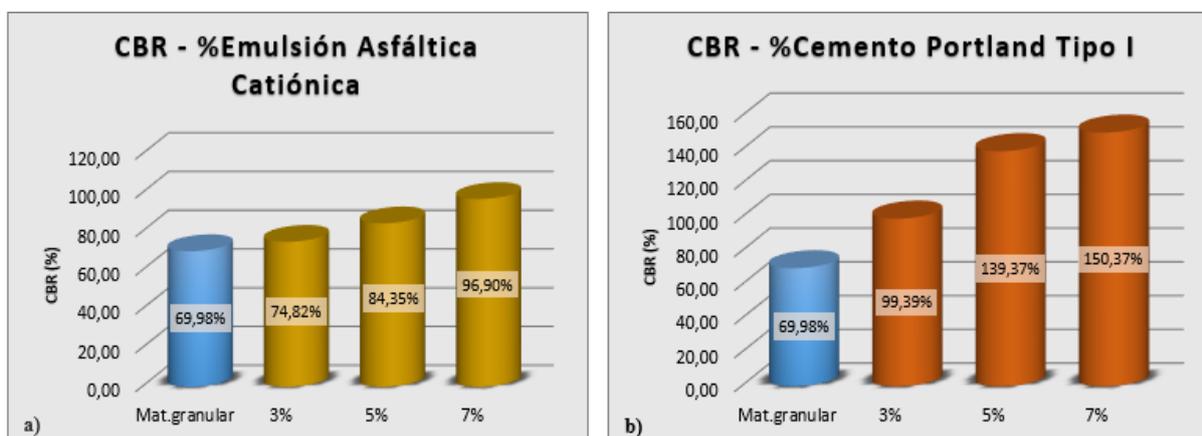


Figura 3. Variación de CBR al 100% de compactación: a) emulsión asfáltica catiónica CSS-IH, b) cemento Portland tipo I. Fuente: los autores

Al incrementar el contenido de cemento Portland tipo I y emulsión asfáltica catiónica al material granular, los CBR al 100% de la MDS incrementan su capacidad de resistencia a la penetración, la cual cumple con las especificaciones para bases de pavimentos.

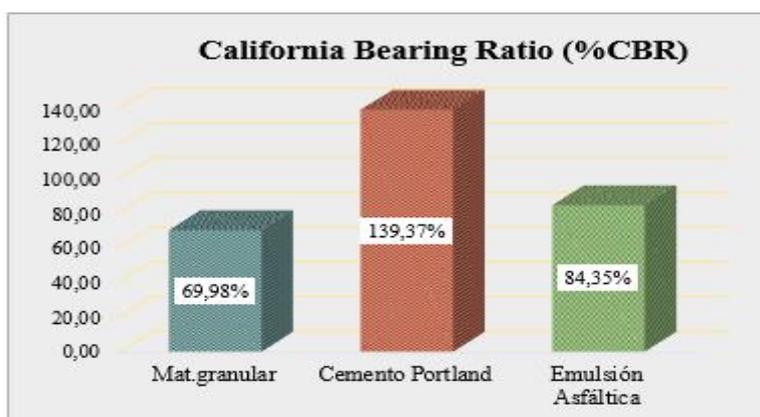


Figura 2. Resumen de los porcentajes de CBR para el diseño de pavimentos. Fuente: los autores

Para fines de diseño de la base granular del pavimento asfáltico, se utilizó los valores de CBR estabilizados al 5%, tanto para cemento *Portland tipo I* con 139,37%, como para la emulsión asfáltica catiónica con 84,35%, siendo estos valores mayores al mínimo del 80% para bases granulares, según el manual de suelos y pavimentos, tal como se presenta en la siguiente Figura 5.

4.2. Resultados del Diseño Estructural del Pavimento

Con base en las consideraciones anteriores, una estructura de pavimento propuesta puede garantizar el buen funcionamiento de los servicios a largo plazo. Para el análisis de bases granulares se hicieron las siguientes consideraciones en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de CBR. Fuente: los autores

CBR	Material Granular (%)	Cemento Portland tipo I (%)	Emulsión asfáltica catiónica CSS-1H (%)
Base	69,98	139,37	84,35
Subbase	69,98	139,37	84,35
Subrasante	6,80	6,80	6,80

En la Tabla 13, muestra que los valores de CBR para base y subbase son iguales, además de que el valor de CBR para la sub-rasante por efecto a los estudios de campo (ver Tabla 7), el porcentaje de CBR es de 6,80%. Una vez definido los CBR para la cada capa de la estructura, se calculó el módulo resiliente siguiendo la ecuación (2). Los resultados indican que el módulo resiliente del cemento *Portland tipo I* con 60208,40psi es mayor al módulo resiliente de la emulsión asfáltica catiónica con 38741,30psi y mayor que el material granular con 43660,16psi, tal cual indica la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados del módulo resiliente. Fuente: los autores

Módulo resiliente	Material granular (psi)	Cemento Portland tipo I (psi)	Emulsión asfáltica catiónica (psi)
Base	38741,30	60208,70	43660,16
Subbase	38741,30	60208,70	43660,16
Subrasante	8713,58	8713,58	8713,58

A fin de realizar el cálculo del número estructural, el cual es un valor adimensional que representa una equivalencia numérica de la capacidad estructural del pavimento, se calculó con la ecuación (3); definiendo que, el número estructural (SN) de la carpeta asfáltica SN_1 para este caso el $SN_1=0$, el número estructural de la base SN_2 y el número estructural de la sub-base SN_3 se utilizó el módulo resiliente de la capa que está inmediatamente debajo. Entonces, en la Tabla 17, en primer lugar, se muestra el número estructural SN_2 , que

corresponde a capa base de la estructura y, en segundo lugar, se determinó el número estructural SN_3 que corresponde a capa subbase de la estructura, donde para el caso de esta se consideró el CBR de la sub-rasante, tal como se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados del valor del número estructural SN_2 y parámetros obtenidos. Fuente: los autores

Parámetros de diseño	Natural	Cemento	Emulsión
Número de ejes equivalentes	1800000	1800000	1800000
Módulo resiliente, M_r (psi) para SN_2	38741,30	60208,70	43660,16
Módulo resiliente, M_r (psi) para SN_3	8713,58	8713,58	8713,58
Nivel de confianza R	85%	85%	85%
Factor de confiabilidad Z_r	-1,036	-1,036	-1,036
Desviación estándar, S_o	0,45	0,45	0,45
Serviciabilidad inicial	4,00	4,00	4,00
Serviciabilidad final	2,50	2,50	2,50
ΔPSI	1,50	1,50	1,50
SN_2	1,28	1,04	1,21
SN_3	2,35	2,35	2,35

De acuerdo al número estructural, se procedió a constituir el pavimento por la capa base y subbase granular mediante la ecuación (3), para ello se debe conocer los coeficientes estructurales y coeficientes de drenaje de cada capa. Así mismo, para determinar los espesores D_1 , D_2 y D_3 , se tuvo en cuenta que el $SN_1=0$ anteriormente mencionado; por tanto, el D_1 que corresponde a la carpeta asfáltica su valor es cero, ya que el objetivo es evaluar las bases granulares, las ecuaciones de la Tabla 9 se encontró los espesores D_2 y D_3 , resumiendo en si al número estructural calculado tal como se detalla en la Tabla 16.

Tabla 16. Cuadro de resumen y valores finales de espesores. Fuente: los autores

Parámetros de diseño	Material Granular	Cemento Portland tipo I	Emulsión Asfáltica Cationica	Base Granular
a_2 (Coeficiente estructural)	0,17	0,21	0,18	
D_2 , pulg (Dimensiones de espesores)	8,00	5,00	7,00	Base
D_2 , cm	20,00	12,7	17,78	
m_2 (coeficiente de drenaje)	1,00	1,00	1,00	
a_3 (Coeficiente estructural)	0,20	0,25	0,21	
D_3 , pulg (Dimensiones de espesores)	5,00	6,00	6,00	Subbase
D_3 , cm	12,7	15,24	15,24	
m_3 (coeficiente de drenaje)	1,00	1,00	1,00	
SN calculado	2,36	2,55	2,52	

Habiendo obtenido los números estructurales de la base y subbase encontramos el número estructural, se puede dar a conocer que los espesores mínimos de diseño (SN diseño), los espesores de la capa base se reduce; mientras que, en la subbase los espesores aumentan considerablemente. Finalmente, en la Tabla 17 se observa los espesores finales del pavimento.

Tabla 17. Cuadro de resumen y valores finales de espesores. Fuente los autores

Parámetros de diseño	Material Granular	Cemento Portland tipo I	Emulsión Asfáltica Catiónica	Base Granular
a ₂ (Coeficiente estructural)	0,17	0,21	0,18	
D ₂ , cm (Dimensiones de espesores)	18,00	13,00	18,00	Base
D ₂ , pulg	7,00	6,00	7,00	
m ₂ (coeficiente de drenaje)	1,00	1,00	1,00	
a ₃ (Coeficiente estructural)	0,20	0,25	0,21	
D ₃ , cm (Dimensiones de espesores)	20,00	15,00	18,00	Subbase
D ₃ , pulg	8,00	6,00	7,00	
m ₃ (coeficiente de drenaje)	1,00	1,00	1,00	
∑ Espesores	38cm	28cm	36cm	
SN (diseño)	2,79	2,76	2,73	
SN (calculado)	2,36	2,55	2,52	

5. CONCLUSIONES

A partir de la granulometría concluimos que el material granular correspondiente al grupo A-1-a, cuyo LL=18,69% e IP=1,03% cumple con las condiciones para la aplicación de cemento portland, cuyos parámetros son A-1, A-2 o A-3, LL<40 y IP<18; así mismo cumple con las condiciones para la aplicación de estabilización con emulsión asfáltica, LL< 30 y IP < 10.

Se concluye que de acuerdo con el “Manual de Carreteras Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos” [8] y el Manual de American Concrete Institute (ACI) [12] para la estabilización con cemento *Portland tipo I* y emulsión asfáltica catiónica CSS-1H utiliza un contenido tentativo considerado al 3%,5% y 7% más contenido de agua a un 2, 4, 6 y 8%.

En los resultados de CBR al 100% de MDS, dado que el material granular con 69,98% no cumple con el valor relativo de soporte CBR mínimo del 80% para carreteras con tráfico en ejes equivalentes $\leq 10 \times 10^6$, puesto que, el número de ejes de carga equivalente en esta investigación es de $1,8 \times 10^6$, sin embargo una vez estabilizado de acuerdo a su dosificación, al 5% ya cumple con lo requerido, siendo estos valores para el cemento *Portland tipo I* con 139,37% y con emulsión asfáltica catiónica a un 84,35%.

Según los espesores últimos de la capa base granular, se concluye que el cemento resulta ser el agente estabilizador de mejor comportamiento, incluso en dosificaciones muy bajas, este permite reducir los espesores necesarios de cada capa, lo cual se traduce en ahorros por kilómetro de pavimento. Finalmente, se concluye que, el diseño de la capa base granular logra identificar las opciones más competentes en el aspecto técnico y económico, ya que se plasma de acuerdo con el material granular de cantera disponible y la metodología de diseño para la base granular estabilizado con cemento *Portland tipo I* y emulsión asfáltica catiónica; esto

quiere decir que en el análisis de diseño del pavimento la suma de los espesores en las bases granulares sin estabilizar; es decir del material granular corresponde a 38,00cm, mientras que de forma estabilizada con emulsión asfáltica catiónica corresponde a 35,00cm, sin embargo, estabilizado con cemento *Portland tipo I* se pudo reducir a 28,00cm, siendo esta una propuesta económica con mayor rentabilidad para el proyecto.

6. FINANCIAMIENTO

Propio de los autores.

7. AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento al [CONSORCIO SHALOM ENACE](#), empresa que facilitó el expediente (planos, estudio de suelos, estudio de cantera) pertinentes para realizar los ensayos de laboratorio, datos requeridos para los cálculos del diseño de la capa base granular estabilizada y sin estabilizar. El material granular para la capa base fue extraída de la cantera [BASTIAN CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.](#) Evaluaciones mediante ensayos de laboratorio en [E & ZU INGENIEROS E.I.R.L.](#)

8. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

9. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, L.S.G y R.F.H; redacción, L.S.G y R.F.H; supervisión, L.C.P. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito

10. REFERENCIAS

- [1] F. Aliaga Rezza y C. Soriano Ochoa, “Análisis comparativo de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en bases granulares,” p. 192, 2019, Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2673>
- [2] R. E. Torres Arenas, “*Diseño de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica, carreteras y auri-desvío livitica (7 curvas) región cusco-2018,*” pp. 1–164, Universidad Privada de Trujillo, Perú, 2019
- [3] M. I. Z. Meza y E. T. Piusseaut, “Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles.,” *Rev. Arq. e Ing., vol. 13, no. 3, pp. 1–11*, 2019
- [4] E. Tejeda Piusseaut, M. I. Zambrano Mesa y A. Alonso Aaenlle, “Materiales granulares

- mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos,” *Infraestruct. Vial*, vol. 22, no. 39, pp. 29–42, 2020, doi: 10.15517/iv.v22i39.41574
- [5] M. Vladimir, R. Adame, M. E. N. C. Alberto y J. Salvador, “Rehabilitación de carreteras : base estabilizada con cemento portland y tendido de carpeta asfáltica” *Revista Innova Ingeniería: Vol. 1 Núm. 1, PUBLICACIONES TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN*, 2016
- [6] A. S. F. Infante, L. S. G. García, C. O. Torres, G. A. R. Niño y J. A. Sánchez, “Mejoramiento de granulares de desecho de la cantera Vista Hermosa con emulsiones asfálticas modificadas,” *Épsilon*, vol. 1, no. 6, pp. 15–27, 2006
- [7] F. Kamran, M. Basavarajappa, N. Bala y L. Hashemian, “Laboratory evaluation of stabilized base course using asphalt emulsion and asphaltenes derived from Alberta oil sands,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 283, p. 122735, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122735
- [8] MTC, “*Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos.*” Ministerio de Transportes y Comunicaciones, p. 301, Perú, 2018
- [9] MTC, “*Manual de Carreteras,*” Mop, vol. Volumen 5, no. 1, p. 1285, EUA, 2014
- [10] A. I. Torres Gracia, “Propuesta Metodológica Para La Evaluación y Mejoramiento, Con Emulsión Asfáltica Y/O Cemento, de los Materiales Granulares Existentes en Las Vías Terciarias”, pp. 1–27, 2014, Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12229>
- [11] F. Sariosseiri y B. Muhunthan, “Effect of cement treatment on geotechnical properties of some Washington State soils,” *Eng. Geol.*, vol. 104, no. 1–2, pp. 119–125, 2009
- [12] ACI, “*American Concrete Institute - Report on Soil Cement*” vol. 76, no. 7, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2009
- [13] E. H. Sánchez-Cotte, G. M. Torres-Chueco y R. E. Esquivel-Ramírez, “Performance of a granular material stabilized with cement when compressive loading is applied,” *Tecnura*, vol. 23, no. 60, pp. 59–71, 2019
- [14] M. Shojaei Baghini, A. Ismail, B. Kheradmand, M. Hesam Hafezi y R. Alezzi Almansob, “The potentials of portland cement and bitumen emulsion mixture on soil stabilization in road base construction,” *J. Teknol. Sciences Eng.*, vol. 65, no. 2, pp. 67–72, 2013

- [15] M. I. Zambrano Meza y E. Tejada Piusseaut, “Contribución al mejoramiento de las calles de la ciudad de Portoviejo mediante la construcción de bases y subbases tratadas con emulsiones asfálticas” *Vol. 1 Núm. 1, Enero-Junio*, pp. 1–5, 2016
- [16] M. Saltan y F. Selcan Findik, “Stabilization of subbase layer materials with waste pumice in flexible pavement,” *Build. Environ.*, vol. 43, no. 4, pp. 415–421, 2008
- [17] MTC, “*Manual de Ensayos de Materiales*,” Man. Ens. Mater., p. 1264, Perú, 2016
- [18] Comisión de normalización y de fiscalización de barreras comerciales no arancelarias, “*NTP 334.090 2013 Cementos. Cemento portland*” Norma Técnica Perú, 2013
- [19] A. E. M. ASSOCIATION, “*Manual Básico de Emulsiones Asfálticas*,” vol. 19, pp. 1–117, USA, 1999
- [20] J. Zhou, M. Zeng, Y. Chen y M. Zhong, “Evaluation of cement stabilized recycled concrete aggregates treated with waste oil and asphalt emulsion,” *Constr. Build. Mater.* vol. 199, pp. 143–153, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.028., 2019
- [21] J. Sánchez, N. Shoji y G. Lazo, “Stabilization of pavement granular layer using foamed and emulsified asphalt under critical low temperature conditions,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 473, no. 1, pp. 1–7, 2019
- [22] ASPHALT EMULSION MANUFACTURERS ASSOCIATION, “Manual Básico de Emulsiones Asfálticas,” *Asph. Inst.*, no. 19, pp. 1–67, USA, 2015
- [23] J. J. Bester, D. Kruger y A. Hinks, “*AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*,” Proceedings of the International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling: Construction Demolition Waste. pp. 63–70, 2001
- [24] C. A. Gutiérrez Montes, “*Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del Cloruro de Magnesio (Bischofita) frente al Cloruro de Calcio*” Tesis, Universidad Ricardo Palma, 2010.