

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

**Evaluación comparativa del aporte estructural de capa base granular estabilizada con cemento portland tipo I y emulsión asfáltica catiónica, para pavimentos asfálticos en vías urbanas del conjunto habitacional Micaela Bastidas-Piura**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autores:**

Bach. Loyza Esmil Surita Gil  
Bach. Rosa Isela Fernández Huamán

**Asesor:**

Mg. Leonel Chahuares Paucar

Lima, septiembre 2022

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

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

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPA BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND TIPO I Y EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA, PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS EN VÍAS URBANAS DEL CONJUNTO HABITACIONAL MICAELA BASTIDAS-PIURA.”** constituye la memoria que presenta los Bachiller(es) Loyza Esmil Surita Gil y Rosa Isela Fernández Huamán para obtener el título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 02 días del mes de septiembre del año 2022



---

Mg. Leonel Chahuares Paucar

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **02** día(s) del mes de **septiembre** del año 2022 siendo las **11:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Ing. Ferrer Canaza Rojas**, el secretario: **Ing. David Diaz Garamendi** y los demás miembros **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** y el asesor **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación comparativa del aporte estructural de capa base granular estabilizada con cemento portland tipo I y emulsión asfáltica catiónica, para pavimentos asfálticos en vías urbanas del conjunto habitacional Micaela Bastidas-Piura"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **ROSA ISELA FERNANDEZ HUAMAN** .....

.....b) **LOYZA ESMIT SURITA GIL** .....

.....conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO CIVIL**.....

con mención en.....

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

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

Candidato (a): ..... **ROSA ISELA FERNANDEZ HUAMAN** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>APROBADO</b>	<b>17</b>	<b>B+</b>	<b>Muy Bueno</b>	<b>Sobresaliente</b>

Candidato (b): ..... **LOYZA ESMIT SURITA GIL** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>APROBADO</b>	<b>17</b>	<b>B+</b>	<b>Muy Bueno</b>	<b>Sobresaliente</b>

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

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Ing. Ferrer  
Canaza Rojas

  
\_\_\_\_\_  
Secretario  
Ing. David Diaz  
Garamendi

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Mg. Leonel  
Chahuares Paucar

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Reymundo  
Jaulis Palomino

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Rosa Isela  
Fernandez Huaman

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Loyza Esmit Surita  
Gil

# **EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL APORTE ESTRUCTURAL DE CAPA BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND TIPO I Y EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA, PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN VÍAS URBANAS DEL CONJUNTO HABITACIONAL MICAELA BASTIDAS-PIURA.**

## **COMPARATIVE EVALUATION OF THE STRUCTURAL CONTRIBUTION OF GRANULAR BASE LAYER STABILIZED WITH TYPE I PORTLAND CEMENT AND CATIONIC ASPHALT EMULSION, FOR ASPHALT PAVEMENTS IN URBAN ROADS OF THE MICAELA BASTIDAS-PIURA HOUSING COMPLEX.**

**Loyza Esmít, Surita Gil \*; Rosa Isela, Fernández Huamán \*\*; Leonel, Chahuares Paucar\*\*\***

### **RESUMEN**

Este estudio tiene como objetivo comparar el aporte estructural de la capa base granular estabilizada con cemento portland tipo I y emulsión asfáltica catiónica CSS-1H para pavimentos asfálticos. Como parte del análisis se realizó ensayos de laboratorio al material granular extraídos de la cantera Bastian, con el fin de obtener las características del material base. Así mismo, para analizar el diseño del pavimento se utilizó el método AASHTO 93, cuya finalidad es calcular el aporte estructural de las bases granulares estabilizadas y sin estabilizar; para ello, se debe tener en cuenta algunos parámetros de diseño según el manual de carreteras sección suelos y pavimentos. Los resultados obtenidos indican que de acuerdo a las dosificaciones estimadas al 3%, 5% y 7% de adición de cemento portland tipo I y emulsión asfáltica catiónica CSS-1H mejora las condiciones del material base granular. En conclusión, de acuerdo a la evaluación del aporte estructural el cemento portland tipo I es 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 pavimentos en la práctica constructiva.

**Palabras clave:** Base granular, Estabilización, cemento portland, Emulsión asfáltica catiónica, AASHTO 93, pavimentos flexibles.

## ABSTRACT

The objective of this study is to compare the structural contribution of the granular base layer stabilized with type I Portland cement and CSS-1H cationic asphalt emulsion for asphalt pavements. 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. Likewise, to analyze the design of the pavement, the AASHTO 93 method was used, whose purpose is to calculate the structural contribution of the stabilized and unstabilized granular bases; To do this, some design parameters must be taken into account according to the road manual, section soils and pavements. The results obtained indicate that, according to the estimated dosages at 3%, 5% and 7%, the addition of type I Portland cement and CSS-1H cationic 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, this allows reducing the necessary thickness of each layer, which translates into savings per kilometer of pavement. in construction practice.

*Keywords: Granular base, Stabilization, Portland cement, Cationic asphalt emulsion, AASHTO 93, flexible pavements.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú, podemos encontrar caminos que no cumplen con las condiciones mínimas de pavimentación, es decir que el pavimento se encuentra en mal estado, que por falta de mantenimiento, mala calidad de la base, efectos climáticos, incremento de carga, entre otros; presentan deterioros y/o deformaciones, los cuales reducen su capacidad de carga, y esto a su vez puede ocasionar accidentes [1]. Es así que, un buen diseño de estas vías son necesarios 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 sub bases 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 por ello que, en esta línea de investigación, de acuerdo a la problemática existente, presenta dos propuestas de estabilización el cual pretende demostrar cuán importante puede ser el mejoramiento de un material base, estabilizado con cemento portland tipo I y emulsión asfáltica catiónica CSS-1H. La investigación está basada en resultados de laboratorio que ayuda a visualizar y comprender el sentido de estas propuestas, como también está investigación se desarrolló de acuerdo a los estudios de campo del 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. Siguiendo su estudio de mecánica de suelos y estudios de tráfico para realizar una elaboración correcta de los cálculos necesarios.

Por lo tanto, la evaluación comparativa del aporte estructural en la capa base granular de una estructura típicamente flexible, diseñado para un pavimento sin carpeta asfáltica, en la cual el diseño estructural este 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 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, una capa base bien diseñada y construida con suficiente espesor evita que la subrasante se deforme excesivamente [7]; la capa de base 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 sollicitaciones 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].

Cabe mencionar que, la función principal de la capa base en pavimentos flexibles es proporcionar capacidad de soporte de carga, esta función mejora el pavimento al agregar rigidez y resistencia a la fatiga, además de proporcionar una capa más gruesa para distribuir la carga por todo el pavimento [7]. 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 [8], según Tabla 1.

**Tabla 1.** *Requerimientos granulométricos para base granula. Fuente: [9]*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación	Gradación	Gradación	Gradación
	A	B	C	D
50 mm (2")	100	100		
25 mm (1")		75-95	100	100

9,5 mm (378")	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

Como segundo punto deben cumplir con las características del agregado grueso y agregado fino que se les denominan así a los materiales retenidos en la malla N°4 y a los materiales que pasan por la malla N°4 respectivamente [9]. Además, el material de base granular deberá cumplir además con las siguientes características como se indica en la Tabla 2.

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

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%
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 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]. En el caso de la investigación realizada por [13], utiliza diferentes condiciones experimentales siendo estos porcentajes que varía entre 7 y 12%; así mismo lo expuesto por [14], emplea el valor óptimo de cemento portland estabilizado en suelo base a un 3%. En [12], el ACI (American Concrete Institute) presenta sofisticadas dosificaciones, dado que muestra rangos típicos de cemento para los distintos tipos de suelo como muestra en la Tabla 3.

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

Clasificación de suelos	Clasificación de suelos ASTM(SUCS)	Rango típico de cemento
-------------------------	------------------------------------	-------------------------

AASHTO		(% 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

### *Estabilización con Emulsión Asfáltica*

Por otro lado, encontramos 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 $\leq 10\%$ $IP \leq 8\%$ Equiv. Arena $\geq 40\%$ CMO $< 1,0\%$ Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> $< 0,6\%$ Abrasión $< 50\%$	4-8%	Mín. 24 h	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois

## **2.2. Diseño de pavimentos asfálticos Según AASHTO 93**

Los pavimentos flexibles en capas se diseñan considerando criterios como la vida útil del diseño, el volumen de tráfico y la resistencia de la subrasante. 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 sub rasantes.



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

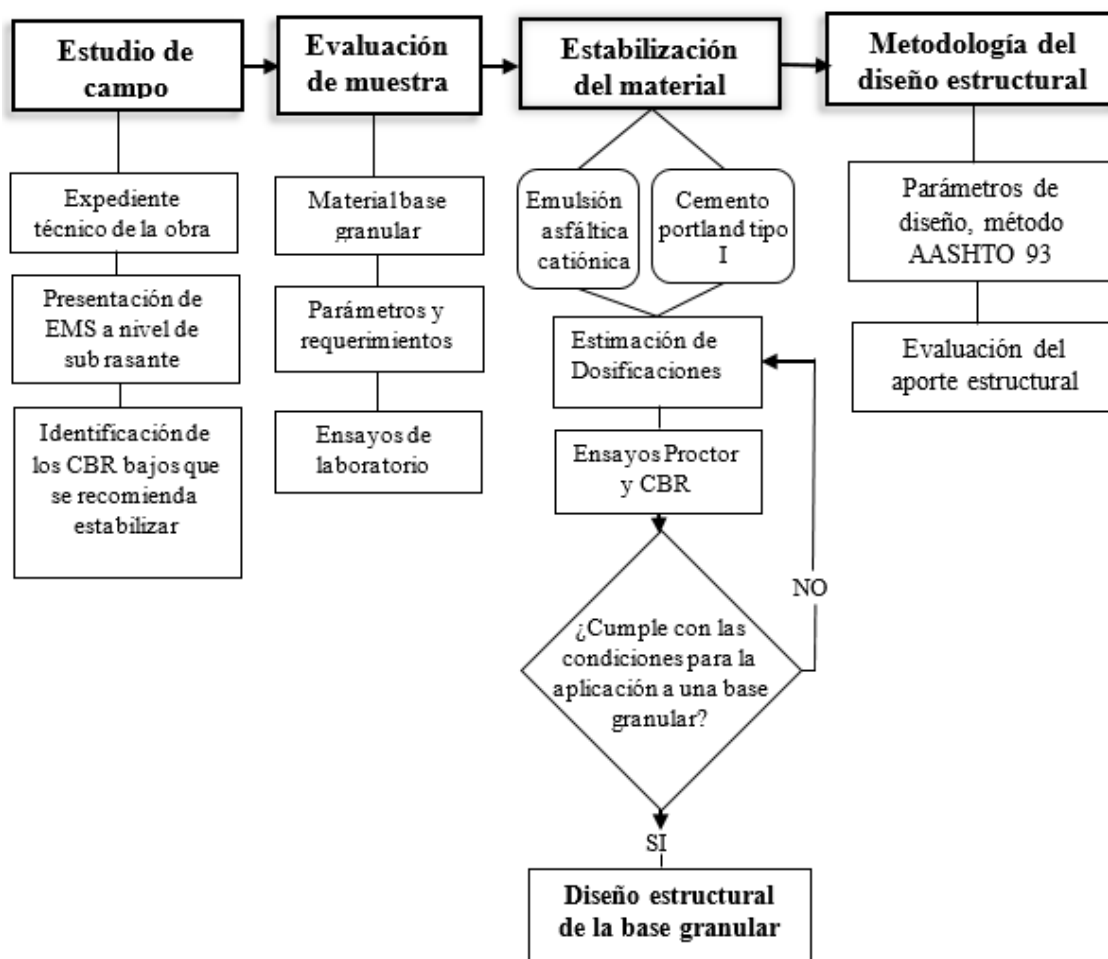
**Tabla 5.** Categoría de Sub Rasante. Fuente:[8]

<b>Categoría de Sub Rasante</b>	<b>CBR</b>
S0: Sub Rasante inadecuada	CBR<3%
S1: Sub Rasante insuficiente	De CBR $\geq$ 3% A CBR<6%
S2: Sub Rasante regular	De CBR $\geq$ 6% A CBR<10%
S3: Sub Rasante buena	De CBR $\geq$ 10% A CBR<20%
S4: Sub Rasante muy buena	De CBR $\geq$ 20% A CBR<30%
S5: Sub Rasante excelente	CBR $\geq$ 30%

Fuente: Manual de carreteras, Suelos Geotecnia y Pavimentos

### **3. METODOLOGÍA**

De acuerdo a 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 783000,00m<sup>2</sup>, 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-1H, 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.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la metodología para el diseño estructural de la base granular. Fuente: los autores

### 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 de tráfico actual 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

Est	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 subrasante detallada en el EMS (Estudio de Mecánica de Suelos) 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 usó para 0,1" de penetración. Del registro de datos se han agrupado los resultados de acuerdo con la categoría de subrasantes 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 subrasante de bajo aporte sean estabilizados.

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

Sub Rasante	CBR diseño	Calicatas	Nº	Porcentaje
S4	24.5	C5, C9, C12 (C11), C13, C19, C20, C22, C23, C24	11	37%
S3	11.5	C4 (C1,C2,C3), C7 (C6), C26, C27, C28, C29, C30	11	37%
S2	6.8	C14, C15, C16, C17, C18, C21	6	20%
S1	3.7	C10, C25	2	7%

### **3.2. Evaluación de Muestra**

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]. El material granular para la capa base fue extraída de la cantera BASTIAN CONTRATISTAS GENERALES S.A.C, tal como se detalla en la Figura 2.



**Figura 2.** Lugar de Acopio del material granular de la cantera BASTIAN. Fuente: los autores  
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, bien graduada y según los requerimientos de una de las franja granulométricas para bases granulares.

**Tabla 8.** Granulometría del material granular

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret.	%Ret. Parc.	%Ret. Ac.	%Q' Pasa
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			

### 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 es el producto obtenido al dispersar la fase bituminosa en una fase acuosa en la que se cargan las partículas, en este caso el líquido que la forma es una fase discontinua (formada por partículas esféricas) y el agua es una fase continua. Las propiedades de una emulsión dependen en gran medida de los productos químicos utilizados como emulsionante [3], [4], [6]. Normalmente, la emulsión asfáltica utilizada en la estabilización de la base es catiónica, este tipo de emulsión tiene tiempo de trabajabilidad para tener una mezcla bien dispersa con mayor estabilidad [15], [19]. La emulsión utilizada en nuestro estudio se preparó con un ligante duro CSS-1H [20], [21], según el manual de emulsión asfáltica muestra algunas de sus características [22].

### **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 (SNr), 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:

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

Sin embargo, la ecuación (1) presenta variables como el 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 ( $\Delta$ PSI), finalmente el 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].

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

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).

$$\text{SN} = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 \quad (3)$$

Para determinar el valor del código estructural SN (diseño), es necesario determinar los coeficientes estructurales de la capa superficial, la capa de base y subbase ( $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$ ) y los espesores de capa ( $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$ ) correspondiente, tal como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Consideraciones para encontrar el número estructural. Fuente. AASHTO 93 [23]

Número Estructural (SN)	Coefficientes Estructurales	Dimensionamiento de Espesores
Carpeta Asfáltica	$a_1 = 0,184 \times \ln(\text{Mr}_1) - 1,954$	$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$
Base	$a_2 = 0,249 \times \log(\text{Mr}_2) - 0,997$	$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2}$
Sub Base	$a_3 = 0,227 \times \log(\text{Mr}_3) - 0,839$	$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$

En la Tabla 10, los coeficientes de drenaje ( $m_2$  y  $m_3$ ) para bases y sub bases granulares se asume el valor de 1,00 [8].

**Tabla 10.** Valores recomendados de coeficientes de drenaje ( $m$ ) para la base y subbase

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. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados de los ensayos del material granular cantera Bastian

Se realizó los 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 de laboratorio 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

Material Granular	Propiedades y características	Requerimiento	Und	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, cuyos límites de Atterberg presenta un límite líquido de 18,69%, límite plástico de 17,66% e índice de plasticidad de 1,03%, de acuerdo a los requerimientos para la aplicación de estabilización con cemento portland tipo I que corresponden a la clasificación A-1, A-2 ó A-3, además que los límites sean  $LL < 40$  y  $IP < 18$ ; así mismo, para la aplicación de estabilización con emulsión asfáltica catiónica, 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.

### 4.2. Resultados del material estabilizado con emulsión asfáltica Catiónica 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

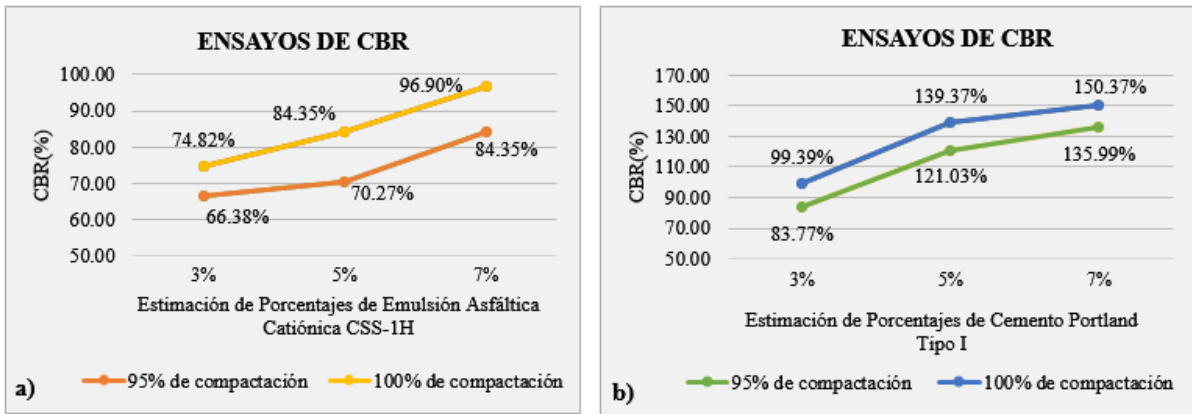
granular de la cantera Bastian. Se muestra en la Tabla 12, los resultados de la evaluación preliminar del material granular, la aplicación de la estabilización del material–Cemento Portland Tipo I y material–Emulsión Asfáltica Catiónica.

**Tabla 12.** Resultados de ensayos de acuerdo a la mezcla material- cemento y material- emulsión

Ensayos	Und	Material	Material-Emulsión			Material-Cemento		
		Cantera	Asfáltica Catiónica			Portland Tipo I		
			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 <sup>3</sup>	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

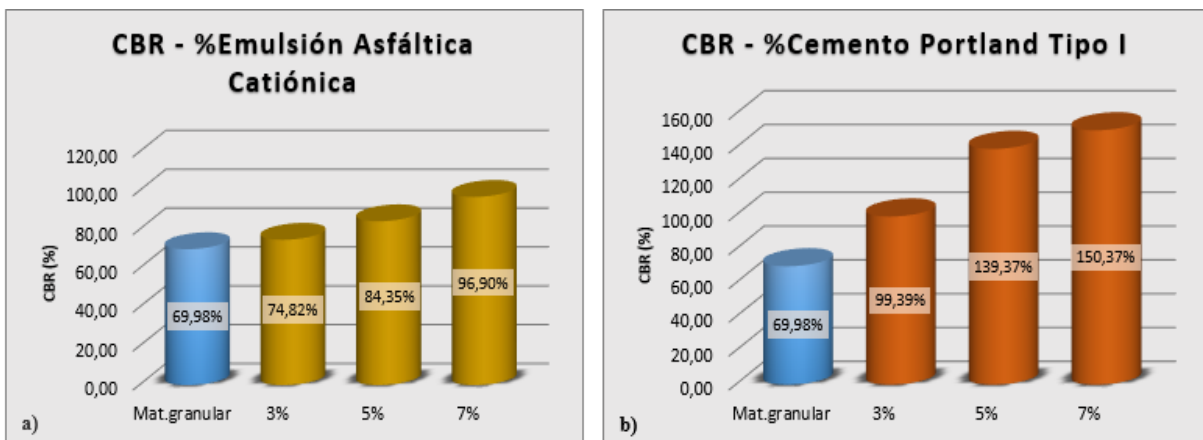
La máxima densidad seca de acuerdo a los diferentes valores de humedad, permite encontrar el óptimo contenido de humedad en la Tabla 12, presenta la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad del material de forma estabilizada y sin estabilizar. Así mismo, el ensayo CBR es un indicador de la 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.





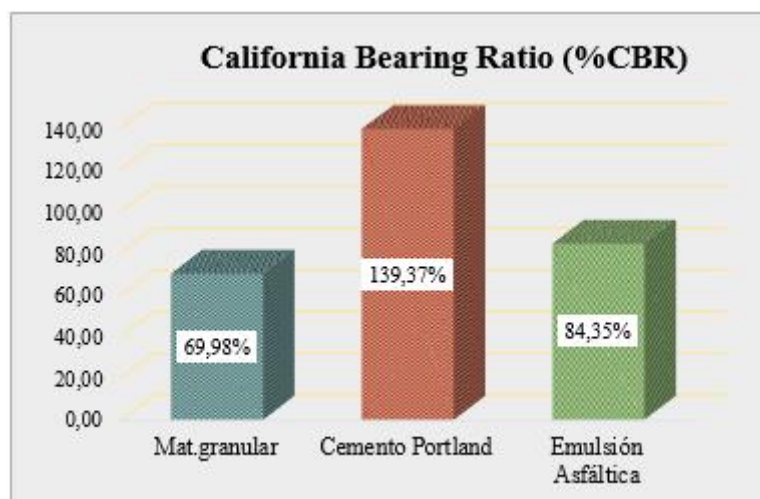
**Figura 3.** Porcentajes de CBR al 95 y 100% de compactación: a) emulsión asfáltica catiónica CSS-1H, b) cemento portland tipo I

En la figura 3, 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%. Por consiguiente, en la Figura 4, se detalla la relación CBR y el porcentaje del contenido de emulsión asfáltica catiónica y cemento portland tipo I.



**Figura 4.** Variación de CBR al 100% de compactación: a) emulsión asfáltica catiónica CSS-1H, b) cemento portland tipo I

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. 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.



**Figura 5.** Resumen de los porcentajes de CBR para el diseño de pavimentos

### 4.3. 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 (%)	Emulsión (%)
Base	69,98	139,37	84,35
Sub Base	69,98	139,37	84,35
Sub Rasante	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 subrasante 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

Modulo Resiliente	Material Granular (Psi)	Cemento (Psi)	Emulsión (Psi)
Base	38741,30	60208,70	43660,16
Sub Base	38741,30	60208,70	43660,16
Sub Rasante	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 y se calcula con la ecuación (3), definiendo que, el número estructural (SN) de la carpeta asfáltica SN1 para este caso el  $SN1=0$ , el número estructural de la base SN2 y el número estructural de la subbase SN3 se utilizó el módulo resiliente de la capa que está inmediatamente abajo. Entonces, en la Tabla 17, en primer lugar, se determinó el número estructural SN2, que corresponde a capa base de la estructura y, en segundo lugar, se determinó el número estructural SN3 que corresponde a capa subbase de la estructura, donde para el caso de la subbase se consideró el CBR de la subrasante, tal como se detalla en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Resultados del valor del número estructural SN2 y parámetros obtenidos.

<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Natural</b>	<b>Cemento</b>	<b>Emulsión</b>
Número de ejes equivalentes	1800000	1800000	1800000
Módulo resiliente, Mr (psi) para SN2	38741,30	60208,70	43660,16
Módulo resiliente, Mr (psi) para SN3	8713,58	8713,58	8713,58
Nivel de confianza R	85%	85%	85%
Factor de confiabilidad Zr	-1,036	-1,036	-1,036
Desviación estándar, So	0,45	0,45	0,45
Serviciabilidad inicial	4,00	4,00	4,00
serviciabilidad final	2,50	2,50	2,50
$\Delta$ PSI	1,50	1,50	1,50
SN2	1,28	1,04	1,21
SN3	2,35	2,35	2,35

De acuerdo al número estructural, se procedió a estructurar el pavimento conformado por la capa base y sub base 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 d1, d2 y d3, se tuvo en cuenta que el  $SN1=0$  anteriormente mencionado; por tanto, el d1 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 d2 y d3, 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

<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Material Granular</b>	<b>Cemento Portland</b>	<b>Emulsión Asfáltica Catiónica</b>	<b>Base Granular</b>
a2 (Coeficiente estructural)	0,17	0,21	0,18	
d2, pulg (Dimensiones de espesores)	8,00	5,00	7,00	Base
d2, cm	20,00	12,7	17,78	

m2 (coeficiente de drenaje)	1,00	1,00	1,00	
a3	0,20	0,25	0,21	
d3, pulg (Dimensiones de espesores)	5,00	6,00	6,00	Sub base
d3, cm	12,7	15,24	15,24	
m3 (coeficiente de drenaje)	1,00	1,00	1,00	
<b>SN calculado</b>	<b>2,36</b>	<b>2,55</b>	<b>2,52</b>	

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

<b>Parámetros de diseño</b>	<b>Material Granular</b>	<b>Cemento Portland</b>	<b>Emulsión Asfáltica Catiónica</b>	<b>Base Granular</b>
<b>a2</b> (Coeficiente estructural)	0,17	0,21	0,18	
<b>d2</b> , cm (Dimensiones de espesores)	18,00	13,00	18,00	Base
<b>d2</b> , pulg	7,00	6,00	7,00	
m2 (coeficiente de drenaje)	1,00	1,00	1,00	
<b>a3</b> (Coeficiente estructural)	0,20	0,25	0,21	
<b>d3</b> , cm (Dimensiones de espesores)	20,00	15,00	18,00	Sub base
<b>d3</b> , pulg	8,00	6,00	7,00	
m3 (coeficiente de drenaje)	1,00	1,00	1,00	
$\sum$ Espesores	38cm	28cm	36cm	
<b>SN (diseño)</b>	<b>2,79</b>	<b>2,76</b>	<b>2,73</b>	
<b>SN (calculado)</b>	<b>2,36</b>	<b>2,55</b>	<b>2,52</b>	

## 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.

Para la dosificación de la estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica nos basamos en el Manual de Carreteras “Suelos Geología Geotecnia y Pavimentos”, así como también utilizamos el Manual de American Concrete Institute (ACI) para la estabilización con cemento, el contenido tentativo considerado es a un 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 portland tipo I 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, concluimos 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 al 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.

## 5. REFERENCIAS

- [1] F. R. Aliaga Rezza and C. E. Soriano Ochoa, “Análisis comparativo de estabilización con cemento portland y emulsión asfáltica en bases granulares,” Universidad Ricardo Palma, 2019.
- [2] R. E. Torres Arenas, “Diseño de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica, carreteras y auri-desvío livitica (7 curvas) región cusco-2018,” 2019.
- [3] M. I. Z. Meza and 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. Tejada Piusseaut, M. I. Zambrano Mesa, and A. Alonso Aenlle, “Materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos,” *Infraestruct. Vial*, vol. 22, no. 39, pp. 29–42, 2020.
- [5] M. Vladimir, R. Adame, M. E. N. C. Alberto, and J. Salvador, “Rehabilitación de carreteras : base estabilizada con cemento portland y tendido de carpeta asfáltica ,” p. 13, 2016.
- [6] A. S. F. Infante, L. S. G. García, C. O. Torres, G. A. R. Niño, and 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, and L. Hashemian, “Laboratory evaluation of stabilized base course using asphalt emulsion and asphaltenes derived from Alberta oil sands,” *Constr. Build. Mater.*, no. 283, pp. 1–12, 2021.
- [8] MTC, “MANUAL DE CARRETERAS Seccion Suelos y pavimentos.” p. 301, 2018.
- [9] MTC, “Manual de Carreteras,” *Mop*, vol. Volumen 5, no. 1, p. 1285, 2014.
- [10] A. I. T. Gracia, “Propuesta Metodológica Para La Evaluación Y Mejoramiento, Con Emulsión Asfáltica y/o Cemento, De Los Materiales Granulares Existentes En Las Vías Terciarias.,” *a.I.*, pp. 1–27, 2014.
- [11] F. Sariosseiri and 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. 2009.
- [13] E. H. Sánchez-Cotte, G. M. Torres-Chueco, and 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, and 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 and E. Tejeda Piusseaut, “Contribución Al Mejoramiento De Las Calles De La Ciudad De Portoviejo Mediante La Construcción De Bases Y Subbases Tratadas Con Emulsiones Asfálticas,” *Rev. Investig. en Energía, Medio Ambient. y Tecnol. RIEMAT ISSN 2588-0721*, vol. 1, no. 1, p. 31, 2016.
- [16] M. Saltan and 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, 2016.
- [18] Comisión de normalización y de fiscalización de barreras comerciales no arancelarias, “NTP 334.090 2013 Cementos. Cemento portland,” *Norma Técnica Peru.*, 2013.
- [19] J. Zhou, M. Zeng, Y. Chen, and 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.
- [20] F. Kamran, M. Basavarajappa, N. Bala, and L. Hashemian, “Laboratory evaluation of

stabilized base course using asphalt emulsion and asphaltenes derived from Alberta oil sands,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 283, pp. 1–12, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122735.

- [21] J. Sánchez, N. Shoji, and 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] D. Montes, “Manual Básico de Emulsiones Asfálticas,” *Asph. Inst.*, no. 19, pp. 1–67.
- [23] J. J. Bester, D. Kruger, and 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,” Universidad Ricardo Palma, 2010.