

Estudio del mejoramiento de una base granular mediante la aplicación de emulsión asfáltica CSS-1h

Study of the improvement of a granular base through the application of asphalt emulsion CSS-1h

DOI: <https://doi.org/10.21703/0718-2813.2024.36.3006>

Fecha entrega: 24 de enero 2024

Fecha aceptación: 12 de julio 2024

Yandira Kienle Chauca

Universidad César Vallejo, Facultad Ingeniería Civil, Ate Vitarte, Lima 15494, Perú. ykchauca@ucvvirtual.edu.pe

En la presente investigación se estudia la estabilización de una base granular empleando emulsión asfáltica de tipo CSS-1h que permita obtener el diseño óptimo con una estabilidad aceptable al tránsito vehicular. Se busca alcanzar características físicas y mecánicas similares a las que tiene una carpeta asfáltica que en adelante deberá soportar las solicitaciones de carga que se necesite. Con este propósito se realizaron ensayos de laboratorio, con los cuales se determinó que las propiedades de la base granular aplicando emulsión asfáltica cumple con los parámetros mínimos requeridos del Manual de Carreteras (2013) y EG (2013). Asimismo, da como resultado el diseño y porcentaje óptimo de emulsión asfáltica a utilizar. Con los resultados de los ensayos, se determinó que el empleo de este producto otorga condiciones aceptables y es funcional para su desarrollo.

Palabras clave: emulsión asfáltica, diseño de mezcla, estabilización de suelos

In the present investigation the stabilization of a granular base using CSS-1h type asphalt emulsion is studied, which allows obtaining the optimal design with acceptable stability to vehicular traffic. Achieving physical and mechanical characteristics similar to those of an asphalt layer are sought, that from now on must support the load requests that are necessary. With this purpose, laboratory tests were carried out, which determined that the properties of the granular base by applying asphalt emulsion, meet the minimum required parameters of the EG (2013) and Highway Manual (2013). Likewise, resulting in the optimal design and percentage of asphalt emulsion to use. With the results of the tests it was determined that the use of this product results in acceptable and functional conditions for its development.

Keywords: asphalt emulsion, mix design, soil stabilization

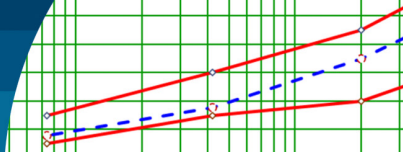
Introducción

Ilo es una ciudad portuaria que se encuentra ubicada en el departamento de Moquegua en Perú. Es conocida por ser un importante puerto marítimo y un centro comercial. Al incremento del desarrollo económico de las actividades portuarias, hay una suma alta de crecimiento de zonas urbanas con vías de tipo carrozables (tránsito vehicular), ya que cuenta con más de 66 mil habitantes. Muchas de las calles de Ilo, no cuentan con buena conformación de los componentes de la base granular. Es por esto que se ha venido interviniendo, colocando en algunas calles, asfalto en frío, asfalto en caliente y pavimento rígido. Este tipo de mezcla asfáltica ha dado buenos resultados, pero también es cierto que este método significa un aumento en la contaminación

ambiental, y llevarlo a cabo requiere un tiempo más o menos prolongado. A pesar de ser una alternativa ya utilizada con hace algún tiempo en muchos países, todavía en Perú y la ciudad de Ilo no se ha generalizado su uso. Se argumentan varios motivos como, por ejemplo, su costo y lo más importante el desconocimiento de cómo se debe implementar esta tecnología, lo cual provoca cierto recelo o temor de contratantes y constructores a emplearlo masivamente.

El desarrollo de esta investigación resalta el estudio del uso de emulsión asfáltica y la conformación de la estructura de una base estabilizada en un pavimento flexible.

Los pavimentos de vías urbanas y/o avenidas, son estructuras de varias capas relativamente horizontal,



superpuestas entre sí y construidas para soportar cargas impuestas por el tráfico y factores ambientales.

La Figura 1 muestra la estructura de un pavimento consistente en una capa de asfalto soportada por capas de menor rigidez hechas de material granular no curado o adherido (base, subbase, capa base y, en algunos casos, capa base modificada o material adecuado), se denomina estructura de pavimento flexible.

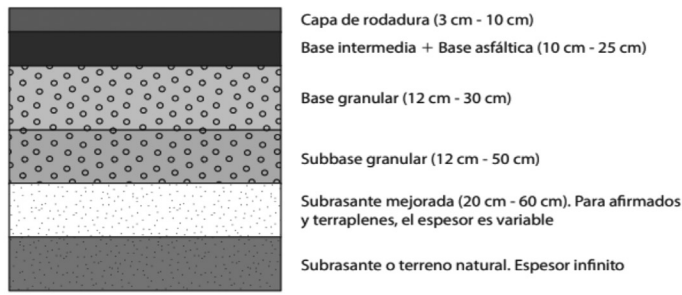


Figura 1: Perfil típico de una estructura de pavimento flexible (Rondón y Reyes, 2015)

Dentro de la variedad de tipos de pavimentos flexibles, se tiene que un micropavimento es un tipo de tratamiento superficial utilizado en la construcción y mantenimiento de carreteras. Se trata de una delgada capa de material compuesta por una mezcla específica de agregados finos, asfalto modificado, agua y aditivos químicos. Este recubrimiento se aplica sobre la superficie existente del pavimento para mejorar su resistencia, durabilidad y capacidad de soportar las cargas del tráfico (Botasso y Segura, 2013; Salinas, 2009).

Se aplica en diversas situaciones y condiciones para abordar diferentes necesidades en la construcción y mantenimiento de carreteras. Algunas de las ocasiones más comunes en las que se utiliza el micropavimento incluyen: renovación de pavimentos, superficies fisuradas, prevención del evenjecimiento prematuro del pavimento y proyectos de mantenimiento (Segura *et al.*, 2023; Urgiles y Boada, 2011).

Un micropavimento ofrece las siguientes ventajas: tiene un espesor delgado mínimo de 10 mm a máximo de 50 mm, lo cual, reduce la cantidad de material necesario a utilizar, tiene un tiempo de curado rápido, versatilidad de aplicación, actúa como un sellador de grietas y fisuras, proporciona una capa protectora contra los efectos de la radiación ultravioleta, contribuye a mejorar la textura superficial del pavimento, lo que aumenta la adherencia

de los neumáticos y mejora la seguridad vial y el costo de aplicar un micropavimento es menor que el de reconstruir toda la carretera (Castiblanco, 2015; Segura *et al.*, 2023). Existen diferentes parámetros de clasificación para poder establecer las diferencias entre las distintas mezclas: a) por fracciones de agregado pétreo que se empleó, b) por la temperatura que se tiene en obra, c) por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica, d) por el tamaño máximo del agregado pétreo, e) por la estructura que se tiene en el agregado pétreo y f) por la granulometría.

La emulsión asfáltica es una mezcla coloidal con elementos no posibles de unir. Por lo tanto, se requiere de agentes emulgentes o estabilizadores; generando así un equilibrio que permite tratar el pavimento en frío a una temperatura menor de 100°C. Las características físicas de los materiales granulares dependen del tamaño de las partículas, así como a su porosidad y consistencia que describen el grado de cohesión y adhesión que tienen entre sí las partículas que componen la capa como resultado de su atracción entre sí y del contenido de humedad. El manual de ensayos de materiales del MTC (Tabla 1) describe las pruebas que se realizan a las emulsiones para confirmar su calidad y aceptación.

Los diferentes tipos de emulsión asfáltica generalmente se clasifican según el tipo de tensioactivo utilizado. La tasa de sedimentación, por otro lado, mide la rapidez con la que se sedimentan las partículas de asfalto suspendidas cuando la emulsión se evapora rápidamente con agua. Se denominan en este sentido con los términos RS (ruptura rápida), MS (ruptura media) y SS (ruptura lenta).

Dado que las partículas de asfalto que recubren el árido y el agua tienden a evaporarse cuando la emulsión entra en contacto con ellas, la emulsión no se considera nociva para el medio ambiente.

La emulsión asfáltica de tipo catiónico de rotura lenta cumplirá con las especificaciones técnicas del artículo 427 del Manual de Carreteras (2013). En la Tabla 2 se enumeran los requisitos técnicos para las emulsiones asfálticas del tipo catiónico (ASTM D2397, 2020; ASTM D3910, 2021).

Dentro de la estructura del pavimento, entre el concreto, subbase granular y asfalto, hay un material granular grueso llamado base granular de la carretera. Esta base está compuesta por sustancias granulares, algunas de las cuales

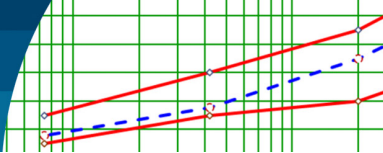


Tabla 1: Ensayos principales con emulsiones asfálticas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, 2014)

Ensayos a la emulsión asfáltica	Normas	
	ASTM y NLT	MTC
Sedimentación en las emulsiones asfálticas	D244	E404
Tamizado de las emulsiones asfálticas	D6933	E405
Cubrimiento y resistencia al desplazamiento de las emulsiones asfálticas	D244	E409
Estabilidad de las emulsiones asfálticas	D6935	E410
Destilación de las emulsiones asfálticas	D6997	E401
Agua en emulsiones asfálticas	D244	E402
Viscosidad Saybolt de emulsiones asfálticas	D244	E403
Demulsibilidad de las emulsiones asfálticas	D6936	E406
Carga de la partícula de las emulsiones asfálticas	D244	E407
pH de las emulsiones asfálticas	NLT 195	E408
Cubrimiento de agregado con emulsiones asfálticas	D6998	E412
Miscibilidad con agua de las emulsiones asfálticas	D6999	E413
Residuos por evaporación de emulsiones a 163°C	D6934	E411

Tabla 2: Requerimientos de emulsión asfáltica catiónica (MTC, 2014).

Ensayos	Normas	Rotura lenta – CSS-1h	
		Mínimo	Máximo
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, s	MTC E403	20	100
Estabilidad de almacenamiento, 24 h	MTC E404	-	1
Carga de partícula	MTC E407	Positiva	
Prueba de tamiz, %	MTC E405	-	0.10
Mezcla por cemento, %	ASTM D6935	-	2.00
Destilación: residuo, %	MTC E401	57.00	-
Pruebas sobre el residuo de destilación:			
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	MTC E304	40.00	90.00
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E306	40.00	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	MTC E302	97.50	-

pueden contener aglutinantes o estabilizantes y que pueden obtenerse de forma natural o mediante transformación. Se reconoce que para que algo se utilice como base granular, debe pasar el análisis granulométrico. Las capas que componen el pavimento flexible, incluida la base granular antes mencionada, se representan en la Figura 2.

El material a utilizar deberá cumplir con los requisitos granulométricos para bases granulares listados en la Tabla 3 y especificados en el Manual de Carreteras (2013), así como los requisitos de la norma ASTM D1241 (2015) para bases granulares.



Figura 2: Estructura de un pavimento flexible

Tabla 3: Especificación granulométrica para base granular (ASTM D1241, 2015)

Tamaño de tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Tipo I			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2" (50 mm)	100	100	---	---
1" (25 mm)	---	75 a 95	100	100
3/8" (9 mm)	30 a 65	40 a 75	50 a 85	60 a 100
# 4 (4.75 mm)	25 a 55	30 a 60	35 a 65	50 a 85
#10 (2.0 mm)	15 a 40	20 a 45	25 a 50	40 a 70
#40 (4.25 µm)	8 a 20	15 a 30	15 a 30	25 a 45
#200 (75 µm)	2 a 8	5 a 15	5 a 15	8 a 15

De acuerdo con los estándares descritos en la Tabla 4 del Manual de Carreteras (2013), los requisitos de agregado grueso en base granular deben cumplir con una serie de características. El material retenido en el tamiz #4 es el

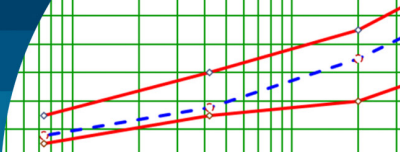


Tabla 4: Características del agregado grueso (MTC, 2014)

Ensayos	Normas			Requerimientos de altitud	
	AASHTO	ASTM	MTC	<30000 msnm	>30000 msnm
Partículas con una cara fracturada		D5821	MTC E210	80% min	80% min
Partículas con dos caras fracturadas		D5821	MTC E210	40% min	50% min
Abrasión los ángeles	T96	C131	MTC E207	40% máx	40% máx
Partículas chatas y alargadas		D4791	-	15% máx	15 % máx
Sales solubles totales		D1888	MTC E219	0.5% máx	0.5% máx
Durabilidad al sulfato de magnesio	T104	C88	MTC E209		18% máx

agregado grueso, según las normas ASTM D422 (2014) y MTC E107 (2014). Este agregado proviene de fuentes naturales y/o procesadas.

Los requisitos técnicos para el agregado fino utilizado en bases granulares se describen en la Tabla 5. Se define como el material que pasa por el tamiz #4 (ASTM D 422, 2014; MTC E107, 2014). Este agregado fino puede ser natural, procesado o una mezcla de ambos.

Tabla 5: Características del agregado fino para base granular (MTC, 2014).

Ensayos	Normas	Requerimientos de altitud	
		<30000 msnm	≥30000 msnm
Índice plástico	MTC E111	4% máx	2% min
Equivalente de arena	MTC E114	35 % min	45% min
Sales solubles	MTC E219	0.5% máx	0.5% máx
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E209	-	15%

Materiales y métodos

Para la obtención de un análisis de implementación de emulsiones asfálticas, se realiza un estudio de suelos y asfalto que determine las características de estos materiales en la zona de Ilo y sus alrededores. La investigación tuvo un enfoque de campo y laboratorio, que sustenta sus bases en el recorrido realizado a la vía que en su momento trabajaron con asfalto en frío, ejerciendo un trabajo de campo recopilando datos que fueron analizados en oficina y laboratorio.

Por último, se comparó esta información con lo recomendado en los contenidos técnicos acerca de las características adecuadas de una emulsión asfáltica y los requerimientos necesarios para una correcta implementación en la vía.

Pruebas y selección de materiales

Para elaborar una mezcla con emulsión para micropavimentos se realizaron ensayos de materiales para determinar si los materiales obtenidos en las minas y fuentes de la zona que circunda la Avenida José F. Maldonado son aptos para la mezcla. El primer paso en el diseño de una mezcla para micro-pavimentos, es la selección de los agregados y la emulsión asfáltica modificada con polímeros (Botasso y Segura, 2013).

Agregados

Los agregados (excluyendo finos minerales) constituyen entre el 82 y 90 % del peso del micropavimento, dependiendo de la granulometría de los agregados y la aplicación, éstos tienen una gran influencia en el rendimiento de los micropavimentos. Para obtener mejores resultados, los agregados deben ser 100% triturados, limpios, resistentes y libres de químicos, arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia, mezclado y colocación. Los agregados triturados preferentemente deberán ser angulares y no contener muchas partículas planas ni alargadas. La granulometría del agregado y otros componentes de la mezcla requeridos en EEUU, normalmente siguen las recomendaciones de la ISSA (Asociación Internacional de Pavimentación con Lechada) con variaciones menores.

Resultados de las pruebas de laboratorio

El material granular fue primeramente ensayado para comprobar si se cumplen las especificaciones del material de la base granular, en cuanto a granulometría, plasticidad, dureza y resistencia a CBR, establecidas en EG (2013). La Tabla 6 contiene un resumen de las pruebas realizadas y comparaciones con las especificaciones del EG (2013) para la base granular.

La Figura 3 muestra el resultado del análisis granulométrico, donde se han incluido las especificaciones del EG (2013) para los materiales de base granular, clase B. Como se observa, tiene granulometría continua y cumple con las especificaciones.

En el ensayo de compactación, ejecutado con la energía del Proctor modificado, se obtuvo una densidad máxima de 2.26 gr/cm³ y humedad óptima de 7.8%. El material cumple las exigencias en cuanto a dureza, con un coeficiente de desgaste de Los Ángeles de 22.9%, ya que las especificaciones para subbase establecen un coeficiente inferior al 40%.

Tabla 6: Características del material granular empleado en la investigación y especificaciones de materiales de base granular según la norma MTC EG (2013)

Ensayo	MTC	Valores normados	Material granular
Partículas con una cara fracturada	E210	80% min	86.7%
Partículas con dos caras fracturadas	E210	40% min	68.7%
Abrasión los ángeles	E207	40% min	22.9%
Partículas chatas y alargadas		15% max	8.7%
Sales solubles totales	E219	0.5% max	0.41%
Durabilidad al sulfato de magnesio	E209	-	9.2%
Índice plástico	E111	4% max	NP
Equivalente de arena	E114	35% min	57%
Densidad máxima, g/cm ³	E115	100% min	2.256
Humedad óptima, %	E115	± 1.5%	7.8%
CBR mínimo del material sin emulsión asfáltica compactado al 100% de la densidad seca max.	E132	80% min	84%

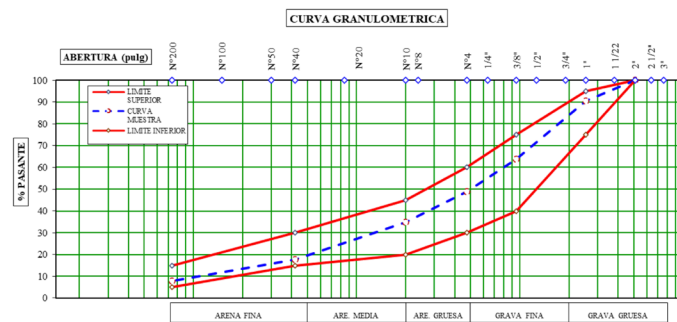


Figura 3: Curva granulométrica del material granular utilizado en las pruebas

Para los ensayos con emulsión asfáltica, se comienza por cuartear la base granular, luego pasar por la malla N°4, separar en bolsas 4 muestras de las 3 dosificaciones (4.0%, 5.0% y 6.0%), siendo un total de 12 muestras, para hallar el % óptimo de asfalto residual, % de vacío, resistencia (kg/cm²) y estabilidad (kg). Luego de separar las muestras, se realiza la mezcla con un porcentaje de emulsión asfáltica y un porcentaje de agua, lo cual se mezcla hasta llegar a una base uniforme con la emulsión, posterior a ello, se pesa para obtener el peso húmedo (ph) en gramos, se pone en el sol a temperatura ambiente para que la humedad disminuya. De nuevo se hace un segundo pesado que viene ser peso seco (ps) en gramos luego de estar en el sol por un tiempo aproximado de 15 ó 20 min dependiendo de la temperatura del día, de la misma forma se realiza para las demás muestras. Así mismo se realizan los cálculos de los ph y ps hasta obtener 3.0 a 3.5% de humedad, obteniendo un resultado favorable dentro del intervalo. La muestra se coloca en un molde, luego se realiza con el martillo Marshall 75 golpes por ambas caras, siendo en total 150 golpes. Por consiguiente, las 12 muestras reposan por 24 horas en sus moldes después de pasar por el martillo Marshall. Al día siguiente de cumplir con el reposo, se desmolda y se lleva 6 briquetas al horno por 24 horas y las otras 6 briquetas a temperatura ambiente por 24 h. Finalmente, se realizan 3 pesos que son peso seco, peso superficialmente seco y peso sumergido al agua, culminado con las 12 briquetas se lleva a la máquina de Marshall para ver la estabilidad y flujo. Las Tablas 7 y 8 presentan los resultados obtenidos.

Según los resultados descritos en la Tabla 8, se tiene un diseño de estabilización promedio óptimo; lo que permitirá trabajar adecuadamente la base granular aplicando emulsión asfáltica, según la Tabla 9.

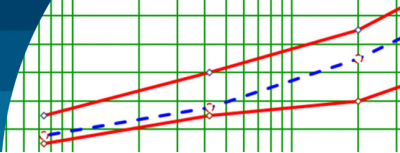


Tabla 7: Dosificación de materiales con emulsión asfáltica

Dosificación	4.0%	5.0%	6.0%
Peso inicial Pi, g	1200	1200	1200
Peso emulsión + grava + arena, g	1152	1140	1128
51% de grava, g	587.5	581.4	575.3
49% de arena, g	564.5	558.6	552.7
% de emulsión, g	48	60	72
Peso de agua (3%, Pi x 3%), g	36	36	36
Peso de agua (3, 2.5 y 2%, Pi x % de agua), g	36 (3%)	30 (2.5%)	24 (2%)

Tabla 8: Resumen de resultados - diseño de estabilización.

	Emulsión asfáltica			
	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%
Nº de golpes	75	75	75	75
% asfalto residual	2.5	3.1	3.7	4.3
Densidad seca, g/cm ³	2.111	2.129	2.142	2.137
Estabilidad modificada seca (22.2°C), kg	835	773	605	523
Flujo (seca), mm	2.2	2.5	3.3	3.7
Estabilidad modificada húmeda (22.2°C), kg	643	589	485	429
Flujo (húmeda), mm	2.1	2.3	3.1	3.9
Vacíos totales, %	9.3	8.6	8	7.8
Humedad absorbida, %	2	-1.9	-1.2	0.6

Tabla 9: Resultado promedio óptimo

Nº de golpes	75	75	75
% de emulsión asfáltica (% en peso de los agregados)	5.8	6.3	6.8
Asfalto residual (% en peso de los agregados)	3.5	3.8	4.1
Densidad seca, g/cm ³	2.139	2.141	2.140
Estabilidad modificada seca (22.2°C), kg	670.0	630.0	560.0
Estabilidad modificada húmeda (22.2°C), kg	527.6	490.0	451.9
Cambios de estabilidad, %	21.7	20.5	19.0
Vacíos totales, %	8.2	8.0	7.9
Humedad absorbida, %	1.5	1.2	0.9
Recubrimiento, %	-	95.0	-

Diseño de pavimento flexible Evaluación del tráfico

El estudio de tráfico permite determinar los volúmenes de flujo vehicular actuales considerando las diferentes direcciones en las que opera la intersección para la condición “sin proyecto”, denominadas “direcciones originales” (A, B).

Luego esos flujos fueron transformados en flujos vehiculares alrededor de la Vía Panamericana, planteada en el diseño geométrico vial y distribuidos en: (i) la intersección a nivel y en base a escenarios probables, cada uno de los cuales está asociado a hipótesis respecto de las condiciones en que operará la nueva infraestructura.

Tasa de crecimiento de vehículos livianos: 0.9854%

Tasa de crecimiento de vehículos pesados: 0.9669%

El análisis del tráfico con propósito de diseñar pavimentos, nos lleva a la obtención del ESAL, el cual se entiende como el daño asociado al número de repeticiones de un eje estándar equivalente de 8.2 ton sobre un pavimento, para el periodo de vida útil del mismo. El ESAL de diseño puede ser determinado de la siguiente manera:

Número de ejes equivalente: #EE

Factor ponderado para carril de diseño: $F_d \times F_c$

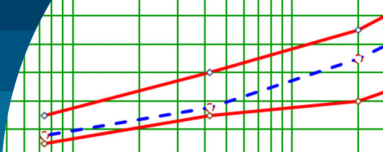
(F_d): Factor de direccional

(F_c): factor de carril

(F_{ca}): factor de crecimiento anual.

El diseño anterior se interpreta como el daño equivalente ocasionado por los diferentes tipos de vehículos que circularán sobre el pavimento durante el periodo de diseño. Tomando en cuenta que los vehículos livianos tendrán un impacto despreciable en el deterioro futuro del pavimento, el diseño considera solamente el aporte de los vehículos pesados, promediando sus factores de carga equivalente por eje en lo que se denomina “factor camión”.

Dado que las proyecciones de tráfico pueden considerar diferentes tasas de crecimiento para cada tipo de vehículo en particular, la ecuación anterior no necesariamente es una fórmula de aplicación cerrada.



El procedimiento de cálculo seguido corresponde a una función implícita que toma en cuenta las proyecciones de volumen del Estudio de Tráfico y los factores de carga equivalente por eje (EALF) asociados al número estructural (SN) en el caso de pavimentos flexibles, los cuales a su vez son variables a despejar dentro de las ecuaciones AASHTO (1993).

La Tabla 10 muestra los resultados de conteo vehicular diario que duro 7 días, desde lunes 4 de setiembre al 10 de setiembre del 2023, en horarios de 6:00 am hasta las 8:00 pm.

Tabla 10: Conteo vehicular semanal

Tipo de vehículo	Vehículos livianos					Veh. pesado
	Auto	Station wagon	Pick up	Panel	Micro	Camión 2E
Lunes	578	379	83	20	40	3
Martes	553	387	79	12	38	4
Miércoles	558	379	80	9	40	3
Jueves	556	371	78	10	40	4
Viernes	553	363	74	12	36	3
Sábado	573	357	70	11	30	3
Domingo	590	347	67	19	26	2
Total	3961	2583	531	93	250	22

En la Tabla 11 y Figura 4, se puede visualizar que, durante los 7 días de la semana, hay un mayor tránsito vehicular

liviano, teniendo un total de 7440 vehículos, y por consiguiente los demás días, se verifica que hay un menor tránsito entre vehículo liviano y pesado.

Asimismo, obteniendo el volumen vehicular semanal, se procede a realizar los cálculos de índice medio diario semanal (IMDs) e índice medio diario anual (IMDa).

Tabla 11: Resultados de índice medio diario semanal y anual.

Clasificación	Tipo de vehículo	Total de vol. semanal	IMDs	Fc	IMDa
Liviano	Auto	3961	565.86	0.9854	557.57
	Station wagon	2583	369.00	0.9854	363.60
	Pick up	531	75.86	0.9854	74.75
	Panel	93	13.29	0.9854	13.09
	Micro	250	35.71	0.9854	35.19
Pesado	Camión 2E	22	3.14	0.9669	3.04
Total		7440	1063.00		1047.00

En la Tabla 11, se visualiza que para hallar el IMDa, se realiza la multiplicación de IMDs y Fc (factor de corrección estacional), que se clasifica en dos partes, vehículos livianos y vehículos pesados; esa operación corrige el promedio semanal, simulando un conteo realizado por todo un año. Este factor de corrección estacional, se

Conteo Vehicular

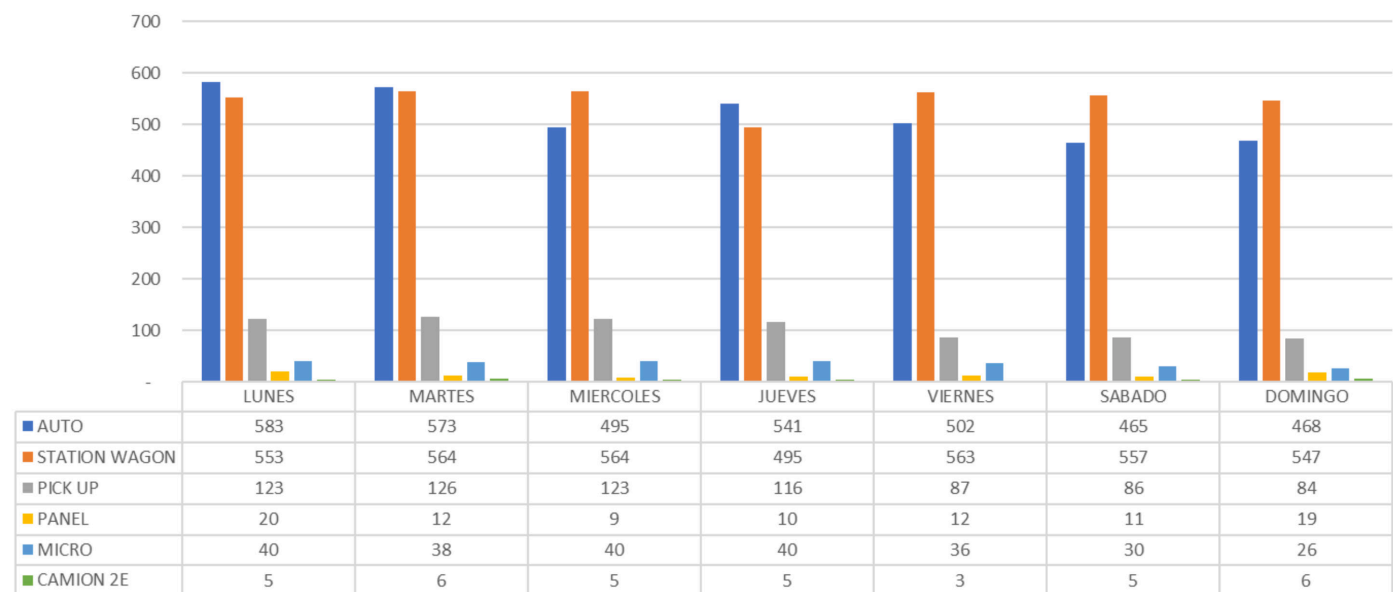
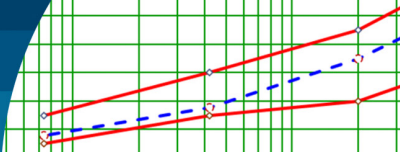


Figura 4: Conteo vehicular detallado.



encuentra registrado en la MTC, para Ilo se tiene un F_c de veh. livianos es 0.9854 y para veh. pesados es 0.9669. De este modo, se tiene los siguientes resultados, IMDa al 2023 es de 1047 vehículos para la vía en estudio.

Evaluación de la subrasante

Los tipos de suelo predominantes encontrados en la prospección de campo son arenas limosas y arenas limosas pobremente gradadas. La exploración geotécnica de la subrasante ha comprendido la apertura de 6 pozos excavados en el terreno natural a partir de los niveles existentes.

En las Tablas 12 y 13 se resumen las características físicas, la clasificación de los suelos en base a su granulometría y sus límites de consistencia, así como los resultados del ensayo CBR, a partir de los cuales se inferirán por correlación los parámetros de diseño correspondientes.

Se puede apreciar que el IP es cero (NP no plástico). Como puede apreciarse los suelos encontrados en campo, son suelos con un bajo contenido de humedad lo que evidencia la ausencia de la capa freática en los niveles explorados. Igualmente se trata de suelos no plásticos, pudiendo preverse un comportamiento elástico en fatiga.

CBR de diseño

Un criterio muy difundido para determinar el valor del CBR de diseño, es el propuesto por el Asphalt Institute (1981), el cual recomienda tomar un valor total, tal que

el 60, 75 u 87.5% de los valores individuales sea igual o mayor que el de acuerdo con el tránsito que se espera sobre el pavimento. Es así que para un $ESAL > 1 \times 10^6$, el percentil de diseño es 87.5%. Para este percentil, el valor del CBR de diseño en las vías indicadas en el párrafo precedente es 41% en el sentido longitudinal.

La Tabla 14 presenta el valor de CBR de diseño menor o promedio para el eje vial del proyecto, así como el respectivo módulos de resiliencia M_R .

Tabla 14: CBR de la subrasante

Eje	Sector Piedra Blanca	CBR, %	M_R , MPa
Vía	Vía Nueva	35	171.4

Teniendo los datos del ESAL y el CBR de la subrasante, se halla los demás datos:

Tipo de tráfico: Tipo = T_{p0}

Nivel de confiabilidad $R = 65\%$

Coefficiente estadístico de desviación estándar normal $Z_r = -0.385$

Desviación estándar combinado

$S_o = 0.45$

Índice de serviciabilidad inicial según rango de tráfico:

$P_i = 3.80$

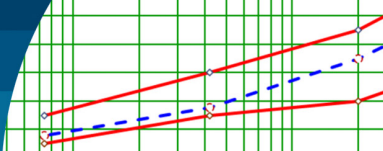
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico: $P_t = 2.00$

Tabla 12: Capacidad de soporte de la subrasante (CBR)

Ubicación calicatas	Progresiva, km	Profundidad, m	Humedad %	Estrato	Clasificación USCS	Clasificación AASHTO	CBR al 95%MDS	CBR de diseño al 95% MDS
C-01	00+100	0.00 – 0.60	3.85	E-01	SM	A-1-b	-	-
C-02	00+950	0.30 – 1.50	1.84	E-01	GP	A-1-a	54	54
C-03	01+300	0.00 – 1.50	1.52	E-01	GP	A-1-a	37.6	37.6
CBR (promedio)								35.00

Tabla 13: Características físicas de la subrasante

Ubicación Calicatas	Estrato	Contenido humedad	Gravedad específica	Densidad mínima	Densidad máxima	LL, %	LP, %	IP, %
		%	g/cm^3	g/cm^3	g/cm^3			
C-01	E-1	1.6	-	1.91	-	-	NP	NP
C-02	E-1	0.9	2.55	2.02	2.014	24.2	NP	NP
C-03	E-1	1.4	2.55	1.78	2.036	22.2	NP	NP



Diferencia de serviciabilidad según rango de tráfico:

$$\Delta\text{PSI} = 1.80$$

Coefficiente de drenaje: $m = 1.00$

Periodo de diseño : $P_d = 10$ años

Número estructural requerido (SNR):

$$\text{SN} = a_1 D_1 + a_2 m_2$$

donde SN es el número estructural del pavimento, a_1 y a_2 son coeficientes estructurales correspondientes a la carpeta asfáltica, base granular y sub base granular respectivamente, m_2 es un coeficiente de drenaje correspondiente a la base granular y sub base granular respectivamente y D_1 , D_2 son espesores de capa correspondientes a la carpeta asfáltica, base granular y sub base granular respectivamente.

Entonces se tiene:

Capa superficial: $a_1 = 0.130$ cm

Base: $a_2 = 0.115$ cm

Cálculo de espesores de las capas:

$D_1 = 1$ cm (capa superficial)

$D_2 = 20$ cm (base granular)

SNR (requerido) = 1.17 debe cumplir:

SNR (calculado) > SNR (requerido)

SNR (calculado) = 2.43 (si cumple)

Conclusiones

Mediante el ensayo Marshall Modificado (método Illinois), se obtuvo el diseño óptimo de emulsión asfáltica de 6.3%, teniendo así un asfalto residual de 3.8%, lo cual da una densidad de 2.141 g/cm³. Por lo tanto, se tiene una densidad mayor y por ende se obtendrá un menor porcentaje de vacíos.

Al incorporar el porcentaje óptimo de asfalto residual, influyó en el resultado de porcentaje de vacíos, obteniendo un valor de 8%. Entonces la influencia de asfalto residual está relacionada con el % de vacíos propuesto, teniendo un porcentaje menor.

El porcentaje óptimo de asfalto residual (3.8%), influyó de forma positiva en el aumento de la estabilidad, dando un valor de 630 kg, por lo tanto, el resultado cumple con el parámetro establecido del Manual de Carreteras (2013).

Se obtiene un presupuesto de 554684.21 soles para un

tramo de 5671 m². Esto presenta una ventaja económica aceptable, por ende, resulta la posibilidad de efectuar obras para vías de bajo tránsito con menor costo y menor tiempo.

Recomendaciones

Tener en cuenta que al aplicar un porcentaje de asfalto residual en la estabilización de bases no solo mejora las propiedades del material, también contribuye en lograr una densidad adecuada garantizando un rendimiento óptimo y durabilidad a la estructura de una base estabilizada.

Al aplicar un porcentaje de asfalto residual, se sella la mezcla, disminuyendo la porosidad y evitando la infiltración de agua; esto resulta en una reducción de porcentajes de vacíos, ya que la presencia de agua aumenta los vacíos e influye negativamente la densidad de la base estabilizada.

Para una base estabilizada, se realizará a través del ensayo Marshall Modificado, teniendo un resultado de acuerdo al porcentaje de asfalto residual a aplicar, y a la vez, la EG (2013), recomienda una estabilidad Marshall mínima de 230 kg.

Al trabajar con una base estabilizada con emulsión asfáltica de tipo CSS-1 de rotura lenta, es beneficiosa ya que posee una mayor adherencia, mejora la resistencia al agua, ya que, forma una capa impermeable que protege de la infiltración de agua. Asimismo, proporciona mayor flexibilidad, así se busca mejorar avenidas con bajo tránsito vehicular, o usar otros tipos de estabilización de suelos, que permita tener un menor costo de adquisición de material y producción.

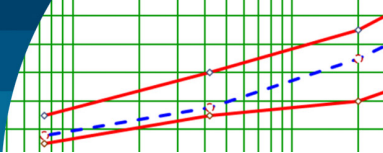
Referencias

AASHTO T104 (2003). Standard method of test for soundness of aggregate by use of Sodium sulfate or Magnesium Sulfate. Washington DC, USA

AASHTO (1993). Guide for design of pavement structures. American Association of State Highway Transportation Officials. Washington DC, USA

AASHTO T96 (2002). Standard method of test for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine. Washington DC, USA

- ASTM C88 (2018). Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate. West Conshohoken PA, USA
- ASTM C131 (2010). Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D244 (2014). Standard test methods and practices for emulsified asphalts. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D422 (2014). Standard test method for particle-size analysis of soils. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D1241 (2015). Standard specification for materials for soil-aggregate subbase, base, and surface courses. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D1888 (1985). Standard test methods for particulate and dissolved matter, solids, or residue in water. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D2397 (2020). Standard specification for cationic emulsified asphalt. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D3910 (2021). Standard practices for design, testing, and construction of slurry seal. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D4791 (2010). Standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D5821 (2013). Standard test method for determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D6933 (2008). Standard test method for oversized particles in emulsified asphalts (sieve test). West Conshohoken PA, USA
- ASTM D6934 (2004). Standard test method for residue by evaporation of emulsified asphalt. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D6935 (2011). Standard test method for determining cement mixing of emulsified asphalt. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D6936 (2004). Standard test method for determining demulsibility of emulsified asphalt. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D6997 (2012). Standard test method for distillation of emulsified asphalt. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D6998 (2004). Standard practice for evaluating aggregate coating using emulsified asphalts. West Conshohoken PA, USA
- ASTM D6999 (2004). Standard practice for miscibility of emulsified asphalts. West Conshohoken PA, USA
- Botasso, G. y Segura, A. (2013). Estudio experimental de microaglomerado asfáltico antiderrapante modificado con NFU. *Obras y Proyectos* 14, 36-44
- Castiblanco, J.W. (2015). *Uso de micropavimento para adecuación de vías municipales*. Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia
- Manual de Carreteras (2013). Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección de Suelos y Pavimentos. RD N° 10 – 2014. Resolución Directoral N° 05-2013-MTC/14. Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, Perú
- MTC E107 (2014). Análisis granulométrico de suelos por tamizado. MTC, Perú
- MTC E111 (2014). Determinación del Límite Plástico (LP) de los suelos e Índice de Plasticidad (IP). MTC, Perú
- MTC E 114 (2014). Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino. MTC, Perú
- MTC E 115 (2014). Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado). MTC, Perú
- MTC E132 (2014). CBR de suelos (laboratorio). MTC, Perú
- MTC E207 (2014). Abrasión Los Ángeles (LA) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½”). MTC, Perú
- MTC E 209 (2014). Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio. MTC, Perú
- MTC E210 (2014). Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso. MTC, Perú
- MTC E219 (2014). Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles. MTC, Perú
- MTC E302 (2014). Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno. MTC, Perú
- MTC E304 (2014). Penetración de los materiales bituminosos. MTC, Perú
- MTC E306 (2014). Ductilidad de los materiales bituminosos. MTC, Perú
- MTC E401 (2014). Destilación de emulsiones asfálticas. MTC, Perú



- MTC E402 (2014). Agua en emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- MTC E403 (2014). Viscosidad Saybolt de emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- MTC E404 (2014). Sedimentación en las emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- MTC E405 (2014). Tamizado de las emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- MTC E406 (2014). Demulsibilidad de las emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- MTC E407 (2014). Carga de las partículas de las emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- MTC E408 (2014). pH de las emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- MTC E409 (2014). Cubrimiento y resistencia al desplazamiento por el agua de las emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- MTC E410 (2014). Estabilidad de las emulsiones asfálticas (mezcla con cemento). MTC, Perú
- MTC E411 (2014). Residuo por evaporación de las emulsiones asfálticas a 163°C. MTC, Perú
- MTC E412 (2014). Cubrimiento de agregado con emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- MTC E413 (2014). Miscibilidad con agua de las emulsiones asfálticas. MTC, Perú
- NLT 195 (1992). pH de las emulsiones bituminosas. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, España.
- Rondón, H.A. y Reyes, F.A. (2015). Pavimentos: materiales, construcción y diseño. Ecoe Ediciones, Bogotá, Colombia
- Salinas, P.I. (2009). *Aplicación de micropavimento usando asfalto modificado con polímero en la vía Sullana-Aguas Verdes*. Proyecto de título de Ingeniería Civil, Universidad de Piura, Perú
- Segura, A., Botasso, G., Raggiotti, B., Zapata, I. y Rebollo, O. (2023). Valoración inicial de mezclas asfálticas retardante de fisuras reflejas elaboradas con asfaltos con alta incorporación de NFU. *Obras y Proyectos* **34**, 18-28
- Urgiles, L.M. y Boada, L.G. (2011). *Diseño y evaluación de micropavimentos con emulsión asfáltica modificada con polímeros, para agregados de canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón en el distrito metropolitano de Quito*. Proyecto de título, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador