



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I



“ANÁLISIS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO PARA BACHEO SUPERFICIAL AISLADO EN TRABAJOS DE CONSERVACIÓN RUTINARIA EN EL ESTADO DE CHIAPAS”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN

PRESENTA:

JACQUELINE LÓPEZ DÍAZ C130183

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. MANUEL ALEJANDRO BUSTAMANTE VEGA

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; ABRIL DE 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
 15 de abril del 2024
 Oficio No. F.I.01.670/2024

C. JACQUELINE LÓPEZ DÍAZ
EGRESADA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN
PRESENTE.

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

“ANÁLISIS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO PARA BACHEO SUPERFICIAL AISLADO EN TRABAJOS DE CONSERVACIÓN RUTINARIA EN EL ESTADO DE CHIAPAS”.

CERTIFICO el **VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la entrega de tesis digital elaborada a través del Programa Institucional para la Obtención del Grado Académico (PIGA), para que sea sustentado en su Examen de grado de Maestra en Ingeniería con Formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”

DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTOIS
DIRECTOR



Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.
 Archivo/minutario
 OACC/HMSG/tcpg*





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE BIBLIOTECAS UNIVERSITARIAS



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Jacqueline López Píaz
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Análisis de la Mezcla Asfáltica en frío para Bacheo Superficial Aislado en Trabajos de Conservación Rutinaria en el Estado de Chiapas."
presentada y aprobada en el año 2024, como requisito para obtener el título o grado de Maestría en Ingeniería con formación en Construcción autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 17 días del mes de Abril del año 2024.

Jacqueline López Píaz

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que han creído en mí y que han tenido palabras para mí a lo largo de todo este proceso académico.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), quien a dado la oportunidad a muchos de ser parte de ella y lograr este grado.

A la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT), en especial a la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), específicamente al Ing. Armando Chávez Gómez por las facilidades otorgadas para la realización de las pruebas Marshall en el área de laboratorio.

A mi director de tesis, a mis asesores y personal de la dirección de posgrado por su aporte y apoyo técnico- profesional.

DEDICATORIA

Primero que todo a DIOS quien me ha permitido seguir en este camino, quien siempre bendice mi día a día

A mi hermoso hijo Ian Jafeth Liévano López quien vino a esta vida con una gran misión, hacerme feliz y enseñarme que puedes romperte en mil pedazos por dentro pero hay que seguir caminando, quien me hizo sentir ese amor tan puro e incomparable, que aunque hoy ya no está en este plano terrenal, que gusta pensar que él me toma de la mano todos los días y no me permite desmoronarme y me guía en esta vida. Él era quien me acompañaba a mis clases de maestría, sé que él estaría feliz de ver a su (mamía) cumpliendo sus sueños y metas y este grado es una de ellas. Gracias amorcito eterno, te amaré siempre hasta mi último suspiro y más allá.

A mi madre Patricia Díaz Pérez mi ejemplo de resiliencia, de lucha y valentía, quien siempre me ha apoyado y siempre me da sus palabras de aliento y los abrazos que necesito. Te amo madre

A mi hermana Viridiana López Díaz sin ti no hubiese podido estudiar ingeniería, gracias por cuidar de mi hijo, gracias por el apoyo que me diste y me has dado, estaré siempre agradecida.

A mis hermanos Rubén López Díaz y Carlos Daniel Araujo Díaz con quienes nunca faltan las risas.

A mi gran amigo incondicional, Galo Rodríguez Guillen, a quien quiero y aprecio mucho, gracias por tu apoyo siempre, por ser incondicional y deseo siempre contar contigo. Cosas buenas nos esperan

A mis amigochas lindas, Lety, Kari, May, Regi, Alme y Vane y amigos Erasto, Armando, Raúl, Freddy y Josué quienes han sabido apoyarme en cada momento. Gracias.

A ti, por tu cariño, tu amistad, tu amor y brindarme siempre tu mano sin juzgarme. gracias por estar.

Y por último esta dedicación es para mí, simplemente por seguir y no renunciar.

Índice General

Resumen	9
Introducción.....	10
Marco Teórico.....	14
1.1 Breves antecedentes para situar la importancia del tema.	14
1.2 Antecedentes de la conservación.....	15
1.3 Antecedentes del tema de investigación.	19
1.2 Marco conceptual.....	21
1.2.1 Estructura de un pavimento flexible.	21
1.2.2 Definición y clasificación de las mezclas asfálticas.	23
1.2.3 Relaciones volumétricas en mezclas asfálticas.	26
1.2.4 Características y comportamiento de la mezcla.....	28
1.2.5 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño.....	30
1.3 Línea teórica.	32
Metodología.....	33
2.1 Método Marshall.	33
2.2 Caracterización de las mezclas asfálticas comerciales.	37
2.3 Procedimiento del Método Marshall.	37
Resultados y Discusión.....	41
3.1 Resultados.....	41
3.2 Discusión.	48
Conclusiones.	49
Referencias.....	52

Índice de Tablas

Tabla 1. Calidad del material pétreo.....	35
Tabla 2. Condiciones de granulometría del material pétreo.....	36
Tabla 3. Calidad para mezclas asfálticas de granulometría densa, mediante método Marshall.	36
Tabla 4. Vacíos en el agregado mineral (VAM), con el método Marshall.....	37
Tabla 5. Resultados y comparativa de las características de las mezclas asfálticas comerciales.	42
Tabla 6.	43
Tabla 7. Resultados del cálculo de prueba Marshall.	46
Tabla 8.	47

Índice de Figuras

Figura 1. Bache superficial, presente en el lado derecho de la carretera.	11
Figura 2. Bache superficial, presente en el lado derecho de la carretera.	12
Figura 3. Representación de los componentes de una mezcla asfáltica típica.	18
Figura 4. Toma de testigos en carpeta asfáltica mediante barrenado.	19
Figura 5. Corte de carpeta asfáltica para proceder a reparar el bache.	20
Figura 6. Reparación de bache.	21
Figura 7.	22
Figura 8. Diagrama esquemático de fases de una mezcla asfáltica compactada.	26
Figura 9.	28
Figura 10. <i>Resultados y comparativa de la granulometría de las mezclas asfálticas comerciales (Solubache® y Bachemix®).</i>	41
Figura 11. Homogenización del material pétreo.	42
Figura 12. Probetas	42
Figura 13. Compactación.	42
Figura 14. Lectura de estabilidad y flujo.	43
Figura 15. Recubrimiento con estearato de zinc.	43
Figura 16. Probetas.	43

Resumen

Este estudio de investigación tiene como objetivo general, aplicar el método Marshall en mezclas asfálticas en frío, respetando las normas vigentes de la SCT para su empleo en bacheos asfálticos superficiales aislados en el tramo San Cristóbal de las Casas – Comitán. Para la realización de la investigación, se formuló la siguiente hipótesis: la mezcla asfáltica con mejor comportamiento mecánico y volumétrico es la elaborada con materiales pétreos del banco “Las peras”, cumpliendo las normas de calidad, para su utilización en bacheos superficiales aislados en el tramo mencionado. La presente investigación es de tipo experimental debido a que se elaboraron probetas cilíndricas con cada una de las tres mezclas en estudio; dos de ellas como productos de comercialización, (solubache® y bachemix ®), y la tercera una mezcla asfáltica elaborada con materiales del banco “Las Peras”, ubicado en km: 88+000, Carretera Tuxtla Gutiérrez - Cd. Cuauhtémoc. Tramo: San Cristóbal - Comitán, desviación 3 km al periférico. El nivel de la investigación es descriptivo, debido a que se realizó un análisis detallado de los resultados obtenidos de la aplicación del Método Marshall en las diferentes pruebas de laboratorio. Los instrumentos de recolección de datos que se utilizaron fueron tablas y gráficos para su mejor observación. Con los datos obtenidos, se concluyó que la mezcla asfáltica con mejor comportamiento mecánico y volumétrico es la elaborada con materiales pétreos del banco “Las peras”, cumpliendo las normas de calidad vigente de la SCT para su utilización en bacheos superficiales aislados del tramo San Cristóbal de las Casas – Comitán. Finalmente se realizaron las siguientes recomendaciones: se recomienda para el material comercial “BACHEMIX”, tomar consideraciones y realizar nuevos estudios para poder lograr una mejoría de sus agregados, triturando dicho material o también se podría agregar más material grueso a la mezcla, para obtener una composición granulométrica que cumpla con los requisitos de calidad; y para el material comercial “SOLUBACHE”, se recomienda la adición de polvo mineral a la mezcla para reducir dichos vacíos.

Palabras claves: Método Marshall, Mezclas Asfálticas, bacheos asfálticos, material pétreo, polvo mineral.

Introducción.

El presente trabajo titulado “Análisis de la mezcla asfáltica en frío para bacheo superficial aislado en trabajos de conservación rutinaria en el estado de Chiapas”, se enfoca en comparar el comportamiento mecánico y volumétrico de mezclas asfálticas comerciales en frío con una mezcla elaborada con materiales de la región.

En México la creación de caminos se remonta a la época prehispánica, y fueron los españoles durante el periodo colonial los que incorporaron tecnologías para pendientes y curvas. Desde 1524, el camino más importante en el actual estado de Chiapas era el que “iba del istmo de Tehuantepec a la ciudad de Guatemala”; su trazo es paralelo al de la actual Carretera Panamericana y comunicaba la costa del Pacífico con la Depresión Central (Lee, 2001).

El año de 1925 se “abrió una nueva etapa en las obras carreteras, ya que el gobierno de Plutarco Elías Calles ordenó la creación de la Comisión Nacional de Caminos, a través de la cual, se institucionalizó en México la construcción y conservación de caminos en todo el territorio nacional”. (SCT, s. f.)

Actualmente, las carreteras en el estado de Chiapas se dividen en carreteras estatales y federales. La conservación y mantenimiento de la red carretera estatal las realiza el Gobierno del Estado de Chiapas, por medio de la ejecución de partidas presupuestarias; pero carece de programas para realizar estas importantes actividades.

Por lo que respecta a la red carretera federal libre de peaje, su mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción, modernización y conservación están a cargo de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), entidad que además de disponer de las partidas presupuestarias, ejecuta éstas a través de sus programas y normativas.

Según Cedric Escalante, Subsecretario de Comunicaciones y Transportes, El programa de conservación de carreteras es de suma importancia porque de todos los pasajeros del país, 96% se mueve vía autotransporte, alrededor de cuatro mil millones al año. En materia de carga, 55% del total se mueve sobre carreteras, lo equivalente a alrededor de mil millones de toneladas anuales (2020).

En el estado de Chiapas, durante la ejecución de las obras del Programa de Conservación de Carreteras, de febrero a junio de 2023, se emplearon en bacheo superficial

aislado, específicamente en una longitud de 300 Km de sus carreteras libres de peaje, 604 m³ de mezcla asfáltica en frío (Compranet 2023 y Residencia de Obra SCLC 2023). Para que se tenga una idea gráfica.

En la conservación de carreteras se considera que debe efectuarse “bacheo superficial aislado asfáltico” “cuando la profundidad del bache no excede el espesor de la carpeta asfáltica en la extensión de las áreas afectadas que establezca el Centro SICT [Secretaría de Infraestructura de Comunicaciones y Transportes], por cada siete mil (7000) metros cuadrados de superficie de pavimento”. (SCT: EP s.f.).

El día 08 de noviembre de 2023, se realizó un recorrido de obra a los tramos que comprende la residencia de obra “San Cristóbal de las Casas”, iniciando en el km 115+000 y terminando en el km 120+000; durante la visita se observó la presencia de baches en distintos puntos (aislados) de dicho tamo, algo de suma importancia que se pudo observar físicamente es que algunos baches fueron tratados con materiales que no cumplen con la calidad requerida, esto debido a que en la región únicamente se cuenta con bancos de materiales de mina, estos materiales denominados calizos (por su composición), son extraídos a cielo abierto por la facilidad y la cercanía hacia el tramo; sin embargo al realizar la inspección física se observó el rápido desprendimiento de los materiales calizos y a eso hay que sumarle otro factor “ el clima “ que se tiene en la zona, la precipitación temporal, ya que como bien se sabe el agua siempre será el mayor problema para las carreteras.

Para poder observar más a fondo el problema, a continuación, se muestran imágenes de como los suelen presentarse en la carpeta asfáltica del tramo antes mencionado:

Figura 1.

Bache superficial, presente en el lado derecho de la carretera.



Fuente: Fotografía formato JGP, López Díaz Jacqueline (2023).

Figura 2.

Bache superficial, presente en el lado derecho de la carretera.



Fuente: Fotografía formato JGP, López Díaz Jacqueline (2023).

Algunas de las preguntas necesarias para este proyecto de investigación son las siguientes:

¿Cuál es la mejor manera para disminuir los baches superficiales que se presentan en el tramo San Cristóbal de las Casas – Comitán?

¿Qué alternativas de mezclas asfálticas en frío existen para su uso en bacheos asfálticos superficiales aislados?

¿Los productos comerciales de mezclas asfálticas en frío cumplen con los requisitos de acuerdo a las normas vigentes de la SCT para su utilización en bacheos superficiales aislados?

¿Qué mezcla asfáltica en frío (solubache®, bachemix ® y mezcla elaborada) tiene mejor comportamiento mecánico y volumétrico para su utilización en el tramo?

Con el problema antes mencionado, nace la necesidad de investigar y analizar una mezcla asfáltica en frío que sea eficiente para las necesidades requeridas en el tramo, así mismo, deberá ser la más recomendable para su utilización en la realización del bacheo superficial aislado.

Se propone el análisis de 3 mezclas asfálticas en frío, 2 de ellas como productos de comercialización, (solubache® y bachemix ®), y la tercera una mezcla asfáltica elaborada con materiales pétreos de la región. Se eligió obtener materiales pétreos para esta tercera mezcla, del banco “Las Peras” ubicado en km: 88+000, Carretera Tuxtla Gutiérrez - Cd. Cuauhtémoc. Tramo: San Cristóbal - Comitán, desviación 3 km al periférico.

Para la investigación se formuló la siguiente hipótesis:

La mezcla asfáltica con mejor comportamiento mecánico y volumétrico es la elaborada con materiales pétreos del banco “Las peras”, cumpliendo las normas de calidad vigente de la SCT para su utilización en bacheos superficiales aislados del tramo San Cristóbal de las Casas – Comitán.

La investigación tiene el siguiente objetivo general:

Aplicar el método Marshall en mezclas asfálticas en frío, respetando las normas vigentes de la SCT para su empleo en bacheos asfálticos superficiales aislados en el tramo San Cristóbal de las Casas – Comitán.

Por consiguiente, tiene los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar la granulometría de las mezclas asfálticas en frío de acuerdo con las normas de calidad vigente de la SCT.
2. Diseñar una mezcla asfáltica en frío con materiales pétreos del banco “Las Peras”, aplicando el método Marshall y cumpliendo con las normas de calidad vigente de la SCT.
3. Examinar resultados de Estabilidad, Flujo y el comportamiento volumétrico de las mezclas asfálticas en frío de acuerdo al método Marshall.
4. Determinar el contenido de cemento asfáltico de las diferentes mezclas en frío.

Los capítulos que se abordan en este proyecto son los siguientes:

Capítulo 1.- marco teórico: en este capítulo se sustentará este proyecto de tesis, después de una serie de investigaciones realizadas.

Capítulo 2.- metodología: esta investigación es experimental debido a la elaboración de probetas de las tres mezclas a analizar en el laboratorio de Servicios Técnicos de la SCT, Centro Chiapas

Capítulo 3.- resultados y discusión: en este capítulo se verán una serie de comentarios y discusiones sobre las mezclas a analizar.

Capítulo 4.- conclusiones: en este capítulo llegaremos a la conclusión sobre que mezcla será la idónea para la correcta ejecución en los bacheos superficiales aislados, y que aportación o mejoría se puede lograr para cumplir con el objetivo de este proyecto.

Marco Teórico.

En este apartado se dan a conocer los antecedentes más importantes del tema de investigación, así también los conceptos más utilizados. Por último, se da a conocer la línea teórica a utilizar para el desarrollo del tema.

1.1 Breves antecedentes para situar la importancia del tema.

Al paso del tiempo, los pavimentos se deterioran debido a la influencia del tráfico y los factores ambientales, cuando aparecen los primeros signos de deterioro, deben mantenerse el nivel de seguridad y confort mediante operaciones de conservación y renovación superficial, los bacheos y tratamientos superficiales prolongan la vida de un pavimento, pero en un periodo de tiempo más o menos largo el deterioro alcanza un nivel que hace necesario proceder, mediante técnicas de rehabilitación a restituir las cualidades perdidas. (Rafael, 2008, p. 85)

En todos los países las carreteras son de vital importancia; a través de ellas se transportan todo tipo de mercancías, bienes y suministros necesarios para el comercio, la industria, la salud; en suma, necesarios en todos los aspectos de la vida humana.

Los daños a la infraestructura carretera en el estado de Guerrero, en la costa de Acapulco, a raíz de que el Huracán Otis tocara tierra el 25 de octubre de 2023, nos muestran

lo difícil que es vivir tan sólo unos días sin poder usar las carreteras, no sólo para ir cotidianamente de un lugar a otro, sino para transportar alimentos, medicamentos y ayuda humanitaria a comunidades enteras en situaciones de emergencia.

Durante la vida operativa cotidiana de las carreteras éstas son afectadas por múltiples factores. Uno de los problemas principales que suele presentarse durante la ejecución de la obra en carreteras es la presencia de agua, pues derivado de esto suelen aparecer agrietamientos y asentamientos en la superficie de rodamiento. Aunado a esta problemática cabe mencionar que otros factores que pueden provocar algunos daños son la mala ejecución del trabajo --aún y cuando se tuviera material de calidad--, así como materiales pétreos de mala calidad. A esto hay que sumarle las cargas diarias del tránsito que aceleran el surgimiento de los baches.

Hay otros factores que pueden afectar la red carretera, como los fenómenos meteorológicos y los movimientos sísmicos. Aunque eventuales, deben considerarse, así como los daños que ocasionan, pues México se encuentra en el Trópico y lo afecta una larga temporada de lluvias y huracanes; además está “ubicado en el contexto de cinco placas tectónicas: Caribe, Pacífico, Norteamérica, Rivera y Cocos. Estas últimas dos placas se encuentran en subducción (se sumergen) debajo de la placa de Norteamérica”. (SSN 2023).

“Detectada la aparición de deterioros en un pavimento, debe hacerse un análisis profundo de los mismos que permita decidir la técnica más adecuada, que conjuntamente con criterios económicos y ambientales den solución al problema” (Rafael, 2008, p. 85).

1.2 Antecedentes de la conservación.

Al desarrollar el concepto “conservación” se puede definir como “conservar una cosa en condiciones óptimas y poder prevenir el deterioro y /o una degradación de la misma”, tiene puntos contacto con el concepto de “rehabilitación”, que es el “conjunto de técnicas y métodos que sirven para que algo [una persona o una estructura, por ejemplo] recupere su función”. (con información de SCT 2014).

A continuación, se describe la clasificación de la conservación de carreteras:

“La estrategia de conservación (trabajos a realizar y momento para su realización) constituye una parte integral del diseño del pavimento, que en ningún caso puede ser olvidada” (Rafael, 2008, p. 86).

Al pasar el tiempo, los pavimentos tienden a sufrir de fallas, así como deterioros en la superficie de rodadura debido a esto se reduce la capacidad para poder ofrecer un tránsito que sea cómodo y seguro, estas fallas se ocasionan por las constantes cargas, condiciones inherentes a la estructura del pavimento y acciones climáticas. (Vise, 2023)

Un mantenimiento oportuno en la superficie de rodadura siempre será esencial para asegurar un tráfico rápido, cómodo y seguro en las carreteras. Si no se corrigen los deterioros que se presenten a tiempo, se requerirá siempre de una reconstrucción más costosa económicamente, por lo que los esfuerzo para conservar nuestras carreteras se centrarán en dichos mantenimientos.

El propósito principal al realizar trabajos de conservación es asegurar una comodidad y seguridad al usuario en las carreteras los 364 días del año. La Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) es la encargada de estas actividades y las divide para poder atender las necesidades eficientemente, ajustándose a los recursos disponibles del presupuesto anual.

Según SCT (2014), para mantener un buen estado físico de las carreteras federales libres de peaje la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC), desarrolla siguientes subprogramas: (p. 3)

- conservación rutinaria de tramos
- conservación rutinaria de puentes
- conservación periódica
- reconstrucción de tramos
- reconstrucción de puentes
- señalamiento
- atención a puntos de conflicto

- mantenimiento integral (SCT, 2014: con base en sección Generalidades de la conservación).

En los trabajos de Conservación Rutinaria de Tramos se consideran de 25 a 35 conceptos por trabajar; según las necesidades de cada tramo carretero, y se trabajan durante 11 o 12 meses. En esos trabajos rutinarios se encuentran cinco rubros: 1) obras de drenaje, 2) pavimentos, 3) Señalamiento y dispositivos de seguridad, 4) terracerías y 5) trabajos diversos.

Este proyecto de investigación se centrará en el rubro 2 Pavimentos como Trabajos de conservación rutinaria, específico del concepto de Bacheo superficial aislado con mezcla asfáltica en frío.

Los baches constituyen un problema muy serio, continuo y permanente a lo largo de la vida operativa de toda carretera, pues ralentizan el tráfico e incrementan el riesgo inherente al manejo de automotores pues los conductores deben invadir el carril contiguo para evitar los baches, algunos de grandes dimensiones y profundos, y obligan a otros conductores a frenar o a detener sus unidades. Los baches son difíciles de percibir y pueden causar daños y destrozos a los automotores y accidentes aún más graves, con varias unidades involucradas.

En esta investigación desagregaremos sólo uno de los varios elementos que componen una carretera, nos ocuparemos exclusivamente de la superficie de rodamiento, del pavimento, de la cinta asfáltica, es decir, de lo que la gente, y especialmente sus usuarios, denominan con toda propiedad, pero también de manera muy simplificada, como “carretera”.

El proceso de construcción para esta carpeta asfáltica indica que debe de usarse los agregados pétreos y ligante asfáltico (en ocasiones se agrega aditivos), este último deberá cubrir con una película continua, para que este proceso se cumpla se requiere de agregados

gruesos y finos, polvo mineral y ligante asfáltico. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los que tienen mayor impacto tanto en calidad de la mezcla asfáltica como en costo total.

Figura 3.

Representación de los componentes de una mezcla



Fuente original: Strategic Highway Research Program SHRP A-369, 1994. (Citado en Crespin et al., 2012: 191).

Entre todos los métodos para el diseño y ensaye de mezclas asfálticas, y determinar las proporciones adecuadas de asfalto y agregados son tres los más usados: el Marshall, el Hveem y el Superpave. Éste último es ahora el más utilizado en EEUU, pues consideran que su metodología está basada en pruebas más científicas. (Crespin et al., 2012: 180 y 183).

El método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas fue desarrollado por el Ingeniero Bruce Marshall, luego, en 1943, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EU le realizó algunos aportes y desarrollos, en esos años la ventaja de esta metodología era que podía realizarse con equipos portátiles. (Prieto, 2006, p. 2)

El objetivo principal del método Marshall es encontrar específicamente el contenido óptimo de asfalto (C.A.), para una mezcla entre los agregados y poder obtener información indispensable para controlar los parámetros esenciales de las mezclas, como estabilidad, fluencia, densidad, porosidad, vacíos, entre otros. Este método es ampliamente utilizado en México debido a su simplicidad, y utilidad tanto para el control como para el diseño de

mezclas asfálticas, ya sean calientes o frías. Sin embargo, una limitación importante del método está en su proceso de compactación, ya que no simula completamente la densificación que ocurre bajo el tráfico en un pavimento real. A pesar de esta limitación, el método Marshall garantiza la determinación de los volúmenes reales de los componentes de la mezcla y sus rangos correspondientes.

1.3 Antecedentes del tema de investigación.

Cuando el usuario de una carretera transita con su automóvil o camión sobre ésta, asume lo que se denomina “costos de operación”, que no son pocos y sí muy variados. Se interpretan como “la suma total de los gastos que efectúan los usuarios al transitarlas [...] cuando una carretera presenta fallas y deterioros [como los baches] el costo de su operación se incrementa notablemente ocasionando pérdidas económicas, problemas sociales, molestias y quejas, entre los usuarios”. (SCT 2014: 2).

Las labores de conservación del pavimento de una carretera son continuas, empiezan con las inspecciones cotidianas por medio de recorridos, durante los cuales se realiza el levantamiento de daños, que incluye su señalamiento o demarcación y registro fotográfico, y cuando el caso lo hace necesario, se toman muestras.

Figura 4.

Toma de testigos en carpeta asfáltica mediante barrenado.



Fuente: Gettyimages

La reparación de los baches es un procedimiento de la conservación de tramos carreteros que se denomina bacheo superficial asfáltico. “Se considera bacheo superficial aislado asfáltico cuando la profundidad del bache no excede el espesor de la carpeta asfáltica en la extensión de las áreas afectadas que establezca el Centro SICT [Secretaría

de Infraestructura de Comunicaciones y Transportes], por cada siete mil (7000) metros cuadrados de superficie de pavimento”. (SCT: EP s.f.).

Según la N-CSV-CAR-2-02-003/16 Bacheo superficial aislado, “[...] se delimitan con pintura las áreas por reparar [para el caso que nos ocupa, el bache mismo] identificadas en el levantamiento de daños, las demarcaciones serán de forma rectangular [para facilitar el cálculo de cada área y la suma total], desde la demarcación hasta donde se encuentra la parte afectada”.

Figura 5.

Corte de carpeta asfáltica para proceder a reparar el bache.



Figura 6.
Reparación de bache.



Fuente: Fotografía formato JGP, López Díaz Jacqueline (2023).

1.2 Marco conceptual.

En este apartado se dan a conocer los conceptos básicos y definiciones para comprender el tema de estudio, se da una clara definición y clasificación de las mezclas asfálticas así como las características y su comportamiento también se mencionan las relaciones volumétricas que existen en el diagrama de fases en las mezclas asfálticas.

1.2.1 Estructura de un pavimento flexible.

Según Angie (2017), el pavimento se define como la estructura que se apoya sobre la subrasante y ésta se crea por medio de capas granulares y una capa de rodadura, esta estructura debe de ser resistente a las cargas que genera el tránsito y los factores ambientales, además debe ofrecer una superficie que permita tráfico seguro y cómodo en los vehículos que circulen en ella. (p. 7)

Según Angie (2017), el pavimento flexible es una estructura que está conformada por las siguientes capas (p. 7):

Figura 7. Estructura típica del pavimento flexible.



Fuente: <http://slideplayer.es/slide/10916850/>

Según Ramírez (2020), describe las partes de un pavimento flexible, las cuales son (pp. 21-22):

Carpeta asfáltica: se compone por mezclas asfálticas y materiales pétreos. La carpeta asfáltica recibe directamente todas las cargas vehiculares y las condiciones y/o fenómenos ambientales. Al mismo tiempo, esta capa debe proporcionar una superficie cómoda y segura al usuario de la vía, así también, funciona como una capa impermeabilizante que preserva las demás capas.

Base: Esta capa se encuentra debajo de la carpeta asfáltica, siendo una de sus funciones la distribución de esfuerzos que se generan por el tránsito hacia las capas inferiores del pavimento.

Subbase: capa granulométrica hecha con materiales económicos que los de las capas como la base y la carpeta asfáltica, esta capa facilita salidas o los escurrimientos de agua para evitar la filtración por la superficie o que esta ascienda por capilaridad.

Subrasante: superficie que sostiene la estructura de pavimento, se compone por el terreno natural, en ocasiones se realizan procesos de mejoramiento en las características del terreno para garantizar una base lo suficientemente estable para recibir las capas siguientes.

1.2.2 Definición y clasificación de las mezclas asfálticas.

“Una mezcla asfáltica, es material que está formada por una combinación de agregados pétreos, ligante asfáltico, y aditivo en algunos casos; de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste” (Rafael et al., 2012, p. 180).

Para Vargas (2019), se emplean parámetros de clasificación para poder diferenciar las diferentes mezclas asfálticas, y estas clasificaciones podrían variar considerablemente, a continuación, se nombran algunas (pp. 50-54):

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más cemento asfáltico.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso, agregado fino, polvo mineral y cemento asfáltico.
- Macadam asfáltico: Capa de rodadura formada por una sucesión de capas de mezcla asfáltica con materiales pétreos de diferentes granulometrías, colocando las de mayor granulometría abajo, y arriba la de menor granulometría. Luego se procede a la compactación con rodos y camiones.

b) Por la Temperatura de puesta en obra.

- Mezclas asfálticas en Caliente: El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente, se compone de una mezcla de agregados graduados y asfalto, fabricado a una temperatura aproximada de 150°C colocada y compactada en caliente a una temperatura de 140 °C. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de secar y calentar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportadores, que a su vez la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva dentro de los rangos de especificación. .
- Mezclas asfálticas en Frío: el ligante utilizado podría ser emulsión asfáltica, sobre todo porque (aún se emplean asfaltos fluidificados en algunos lugares). El

aplicar esta mezcla en el lugar de trabajo(obra), se debe realizar a temperatura ambiente. “este es el tipo de mezcla asfáltico en estudio”.

- Mezclas asfálticas Tibias: son aquellas que se producen a temperaturas menores a comparación de las mezclas en caliente, entre 100°C y 135°C, para poder realizar dicha producción se involucran nuevas tecnologías para producirán y colocarán concretos asfálticos a temperaturas mínimamente inferiores a diferencia de las técnicas convencionales. este concepto de mezcla tibia surge en el continente europeo, por la necesidad de una mezcla bituminosa que brindara economía de energía y cumpliera con los mismos estándares que las mezclas asfálticas en caliente.

c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica. Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: esta mezcla contiene cantidades de agregados en proporciones idóneas de todos los tamaños, grueso a fino, incluyendo filler, con el objetivo de obtener una mezcla densa con pocos vacíos. La proporción de los vacíos no deberá superar el 5 %. mezclas densamente graduadas tienen puntos de contacto entre las partículas, que podrían dar una elevada resistencia friccional y así poder reducir la idea de trituración de las partículas en los puntos de contacto. cuando el contenido de vacíos es bajo son poco permeables. En las mezclas asfálticas en caliente, se prefieren agregados con granulometría densa, o cercana a la densa.

- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La correlación de vacíos deberá estar entre el 5 % y el 10%.

- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos superará el 12 %.

- Mezclas Porosas o Drenantes: estas mezclas son usadas como carpeta de rodadura, su característica principal es tener un alto porcentaje de huecos vinculados entre si, esto permite el paso del agua a través de la mezcla y su rápida evacuación hacia zonas laterales fuera de las calzadas. La proporción de vacíos será superior a 20 %.

d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.

- Mezclas Gruesas: El tamaño máximo excederá los 10 mm para el agregado pétreo.
- Mezclas Finas: Llamadas “micro aglomerado”, también conocidos como “morteros asfálticos”, son mezclas conformadas principalmente por agregados finos incluyendo polvo mineral y ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo es el que determina el espesor mínimo con el que tendrá que extenderse la mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

e) Por la Estructura del agregado pétreo.

- Mezclas con Esqueleto mineral: estas mezclas tienen esqueleto mineral resistente, su resistencia debido a la fricción interna de los agregados es notable. Un ejemplo serían las mezclas abiertas o también a los que se conocen como concreto asfáltico, aunque en estos últimos una parte de su resistencia se debe a la masilla.
- Mezclas sin Esqueleto mineral: estas mezclas como un nombre lo dice, no poseen esqueleto mineral que sea resistente. En ocasiones la resistencia se debe a la cohesión de la masilla.

e) Por la Granulometría.

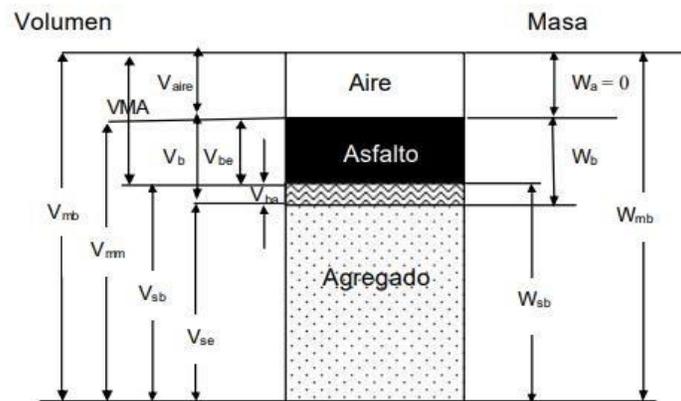
- Mezclas Continuas: Las mezclas continuas son cantidades que tienen una distribución de tamaño variables de agregado pétreo en el huso granulométrico (Zona comprendida entre dos curvas granulométricas).
- Mezclas Discontinuas: Cantidad limitada en los tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
-

1.2.3 Relaciones volumétricas en mezclas asfálticas.

En una mezcla asfáltica, se distinguen tres fases: la sólida, compuesta por agregado mineral; líquida, que es representada por el asfalto; y por último la fase gaseosa, que incluye el aire, puesto que, el agregado mineral es poroso, parte del asfalto es absorbido por poros del agregado, por lo tanto, una parte del espacio en la mezcla se comparte por el agregado y el asfalto, lo que se le conoce como asfalto absorbido, considerar esta absorción permite subdividir el volumen del asfalto en volumen efectivo de asfalto y volumen absorbido de asfalto, y el volumen del agregado en volumen total de agregado y volumen efectivo de agregado; con base en lo anterior y con relación a la Figura 8. se tiene que la suma de los volúmenes individuales (V_b+V_s) es mayor que su volumen combinado (V_{be+s}). (Paul, et al., 2005, p. 15)

Figura 8.

Diagrama esquemático de fases de una mezcla asfáltica compactada.



Fuente: (Paul, et al., 2005, p. 15)

Donde:

V_{mb} = volumen total de la mezcla compactada

V_{mm} = volumen de la mezcla sin vacíos

VMA = volumen de vacíos en el agregado mineral

V_{sb} = volumen total del agregado

V_{se} = volumen efectivo de agregado

V_{be} = volumen efectivo de asfalto

V_{ba} = volumen de asfalto absorbido

V_{aire} = volumen de aire

W_{mb} = masa total de la mezcla compactada

W_a = masa del aire W_b = masa del asfalto

W_{sb} = masa total del agregado

Las fases de asfalto efectivo y de aire de la mezcla, se consideran como volumen de vacíos en el agregado mineral; y la fase de aire como el volumen de aire en la mezcla. Cuando los vacíos contienen únicamente asfalto ($V_a=0$), se dice que los vacíos están llenos, y se estima que la mezcla ha alcanzado su densidad máxima teórica; cuando existe tanto aire como asfalto, se considera que parte de los vacíos están llenos con asfalto, y que la mezcla ha alcanzado un determinado grado de saturación. (Paul, et al., 2005, p. 16)

Según Paul (2005), una mezcla asfáltica compactada deberá de ser analizada en base al volumen, por tanto, por lo tanto, es de suma importancia saber la definición y entender cada volumen de diagrama de fases, que a continuación se presentan. (pp. 1517):

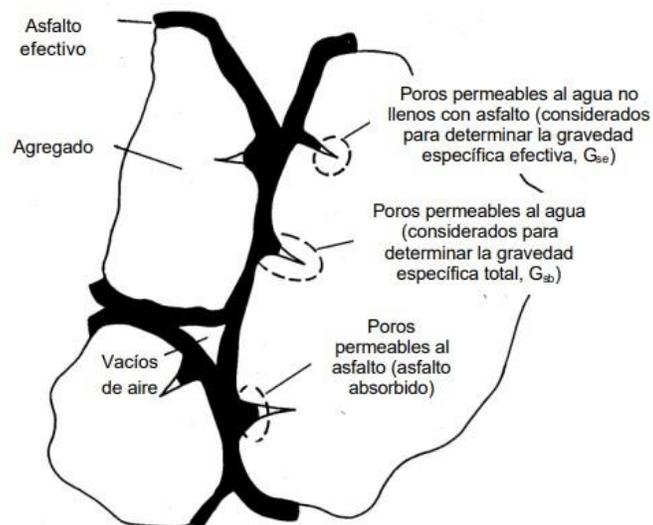
- Volumen de asfalto efectivo, (V_{be}): Volumen de asfalto que cubre las partículas de agregado; es decir, es el asfalto que no es absorbido por los poros del agregado.
- Volumen de asfalto absorbido, (V_{ba}): Volumen de asfalto que es absorbido por los poros externos del agregado.
- Volumen total del agregado, (V_{sb}): Volumen total del agregado que comprende el volumen del sólido y el de los poros permeables al agua.

- Volumen efectivo del agregado, (V_{se}): Volumen del agregado que comprende el volumen del sólido y el de los poros permeables al agua no llenos con asfalto.
- Volumen aparente del agregado, (V_{sa}): Volumen del sólido del agregado, es decir, no incluye el volumen de los poros permeables al agua.

En la figura 9, se ilustra el volumen de aire, volumen de asfalto efectivo y volumen de asfalto absorbido en una mezcla asfáltica compactada.

Figura 9.

Ilustración de los diferentes volúmenes.



Fuente: Caracterizaciones geométricas de mezclas asfálticas, SCT – IMT (2005)

1.2.4 Características y comportamiento de la mezcla.

Según Montoya (2017), una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento; el análisis está enfocado en 4 características de la mezcla y como influyen en el comportamiento de dicha mezcla, las cuatro características son (p.55-58):

Densidad: La densidad de la mezcla compactada es definido como su peso unitario, esto se refiere a, el peso de un volumen específico de la mezcla. Esta es una característica de mucha importancia debido a que se debe tener alta densidad cuando se termina la elaboración de un pavimento para poder lograr un rendimiento de calidad y que perdure, la densidad es expresada, en kg/m^3 , y es calculada al multiplicar la gravedad específica total por la densidad del agua. La densidad que se obtiene en laboratorio se le denomina densidad patrón y es referencia para saber si al terminar el pavimento realizado, esa densidad que se tiene es, o no, la adecuada. Se recomienda por lo regular que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio, ya que rara vez la compactación in-situ logra poder alcanzar densidades obtenidas usando métodos que normalmente se usan en compactación de laboratorio.

Vacíos de aire: Los vacíos de aire son pequeños espacios de aire, estos están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final que es compactada, para que la mezcla asfáltica tenga una buena durabilidad, esta dependerá en función del contenido de vacíos., esto se refiere a que el contenido de vacíos deberá ser menor para que de la misma manera sea menor la permeabilidad de la mezcla. Por lo tanto, un contenido muy alto de vacíos proporcionará pasajes, a través de la mezcla, por lo cual podría haber presencia de agua, así como también podría entrar el aire y causar un deterioro prematuro. Por otro lado, el contenido muy bajo de vacíos tiende a producir exudación del asfalto; esto se refiere a que el exceso de asfalto es expulsado de la mezcla hacia la superficie.

Vacíos en el agregado mineral: Estos vacíos son los espacios que existen de aire entre partículas de agregados de la mezcla compactada, esto incluye los espacios llenos de asfalto. El VAM es el espacio que se tiene disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla.

Contenido de asfalto: La proporción de asfalto en la mezcla, es un factor muy importante y será determinada con precisión en el laboratorio de calidad ya que después de ello, deberá ser controlada en obra. El contenido de asfalto, (C.A), de una mezcla específica se fija usando los respectivos criterios del método de diseño que se haya seleccionado. De las características de los agregados como la granulometría, y capacidad de absorción, dependerá en gran medida el resultado del contenido óptimo de la mezcla a usar. Hay que

recordar que la granulometría está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto; la mezcla con mayor cantidad de finos, su área total será mayor y tendrá como resultado el uso de más cantidad de asfalto para poder cubrir de manera uniforme las partículas, así también se sabe que las mezclas gruesas exigirán el uso de menos asfalto, esto se debe a su menor área superficial total. entre la relación del área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto se hace más evidente cuando existe la presencia de relleno mineral (filler); el uso de mayor cantidad de filler, literalmente absorberá mayor contenido de asfalto, esto da como resultado una mezcla muy inestable y seca, por otro lado, los pequeños contenidos de filler darán como resultado una mezcla aún más favorable (humeda).

1.2.5 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño.

Según Walter (2012), en el proceso para la elaboración de una mezcla de diseño, es necesario realizar múltiples pruebas de mezcla para encontrar una que tenga todos los criterios de diseño. Cada prueba de mezcla sirve como referencia para evaluar y ajustar las pruebas consecutivas. Para el diseño inicial o exploratorio de mezclas, se recomienda iniciar con agregados que ronde a la media de los límites establecidos. Las primeras pruebas de mezcla tienen como objetivo definir la fórmula a usar y constatar que los agregados estén dentro de los límites establecidos y estos puedan ser replicados.

Si las pruebas que se hacen a las mezclas no cumplen con los criterios de diseño para obtener el contenido de asfalto que se eligió, necesariamente se tendrá que modificar o en su caso rediseñar la mezcla, esto con el fin de poder corregir la deficiencia, el método a seguir más sencillo es ajustar la graduación de agregados y ajustar los porcentajes utilizados. En ocasiones este ajuste es suficiente para satisfacer las especificaciones que se requieren. (Walter, 2012, p. 31).

Según Chimborazo (2012), existen lineamientos generales para ajustar las mezclas de prueba, aunque estas sugerencias no funcionan en todos los casos (pp.31-33):

a) Vacíos bajos y estabilidad baja.

Los vacíos aumentan de diversas maneras; para poder tener una óptima graduación en el agregado, se deberá adicionar más agregado grueso o fino; si se eleva más de lo

normal el contenido de asfalto y el exceso no será necesario para poder reemplazar el absorbido por los agregados, entonces se tendrá que disminuir del contenido de asfalto para poder elevar el porcentaje de vacíos y llegar a un adecuado VMA. Así también no olvidar que si disminuye el porcentaje de asfalto su durabilidad será baja para el pavimento por lo tanto al existir una disminución en el contenido esto provocará fracturas en el pavimento, oxidación acelerada y el aumento de la permeabilidad. Si los cambios o ajustes que se hayan hecho anteriormente no producen una mezcla estable, deberá de realizarse cambio en el agregado, también es posible realizar mejoría en la estabilidad e incremento en el contenido de vacíos en el agregado de la mezcla, el incremento del agregado grueso o reducción de la cantidad de material que pasa la malla No. 200. Así mismo al incorporar arena procesada, mejorará el contenido de vacíos sin la necesidad de sacrificar la estabilidad de dicha mezcla.

b) Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria.

Los bajos contenidos de vacíos pueden en ocasiones resultar en inestabilidad debido al flujo plástico o después de que el pavimento ha estado expuesto al tránsito por algún periodo de tiempo ante la reorientación de partículas y compactación adicional.

Por otro lado, la falta de vacíos pueden ser el resultado de la cantidad requerida de asfalto para obtener una durabilidad mayor en mezclas finas; aunque la estabilidad es satisfactoria al inicio, bajo un tránsito específico. La degradación de agregado pobre al momento de la producción de la mezcla y/o bajo la acción de tránsito podría ocasionar inestabilidad y flujo si el contenido de vacíos no es suficiente. Por lo tanto, mezclas con vacíos bajos tendrán que ajustarse por alguno de los métodos dados en el inciso anterior sin importar que la estabilidad inicial sea satisfactoria.

c) Vacíos satisfactorios y estabilidad baja.

Cuando la estabilidad es baja, y los vacíos y la graduación de los agregados son satisfactorios, aun con esos resultados pueden existir algunas deficiencias en el agregado. Se deben tomar consideraciones para la mejora en la forma de la partícula de los agregados usando material producto de la trituración o aumentando porcentaje de agregado grueso en la mezcla o el tamaño máximo del agregado. El agregado con textura rugosa y

superficies menos redondeadas, presentarán más estabilidad cuando se mantenga o incremente el volumen de vacíos.

d) Vacíos altos y estabilidad satisfactoria.

Los altos contenidos de vacíos se asocian con mezclas con una muy alta permeabilidad; lo que puede permitir circulación del agua y aire a través del pavimento, esto provocaría en el asfalto un endurecimiento apresurado, así como el desprendimiento de agregados o del asfalto en el agregado. Incluso cuando la estabilidad sea satisfactoria, es muy importante realizar ajustes para poder reducir los vacíos; podrán ser pequeñas reducciones si se adiciona polvo mineral a la mezcla, podría ser necesario una correcta selección de agrados, o la combinación de estos para lograr una correcta graduación, la cual tendrá que estar cerca de la curva de máxima densidad.

e) Vacíos altos y estabilidad baja.

Se deberán seguir dos pasos muy importantes, el primero, se deberá de ajustar el volumen de vacíos discutidos en métodos anteriormente y el segundo que a pesar de realizar los ajustes no se observa una mejoría significativa en la estabilidad de la mezcla será crucial considerar la calidad de materiales que se usaron.

1.3 Línea teórica.

La línea teórica a utilizar en esta investigación está dada por lo que la normativa señala para cada caso particular, para el caso de esta investigación, para el diseño y ensaye de muestras asfálticas para aplicar en frío en bacheo superficial de conservación.

A continuación, el listado de las normas técnicas vigentes y de observancia obligada que rigen sobre el objeto que es tema de esta investigación.

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- Ley Federal de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal
- Ley de vías generales de comunicación
- Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México. 2014

- Especificación particular (EP) Bacheo superficial aislado con mezcla asfáltica en frío, por unidad de obra terminada
- Normativa: N-CMT 4-05-003/08. Características de los materiales, 003 Calidad de mezclas asfálticas para carreteras
- Normativa: N-CSV-CAR-2-02-003/16 Bacheo superficial aislado

Metodología.

. La presente investigación es de tipo experimental debido a que se elaboraron probetas cilíndricas con cada una de las tres mezclas en estudio; dos de ellas como productos de comercialización, (solubache® y bachemix ®), y la tercera una mezcla asfáltica elaborada con materiales del banco “Las Peras”, el nivel de la investigación es explicativo, debido a que se realizó un análisis detallado de los resultados obtenidos de la aplicación de las diferentes pruebas de laboratorio. Los instrumentos de recolección de datos que se utilizaron fueron tablas y gráficos para su mejor observación

2.1 Método Marshall.

El proceso de diseño de una mezcla asfáltica, independientemente del método de diseño utilizado, involucra la selección del agregado, selección del asfalto; compactación de los especímenes de prueba, el cálculo de los parámetros volumétricos; y la determinación del contenido de asfalto óptimo. (Garnica, 2005, p. 35)

El método de diseño de mezclas Marshall fue formulado por Bruce Marshall y posteriormente, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró dicho diseño. (Garnica, 2005, p. 35)

El método original de Marshall es aplicable a mezclas asfálticas donde se tengan agregados con tamaño máximo de 25 mm (1”), sin embargo dicho método se modificó para tamaños de agregado mayores a 38 mm (1,5”); fue diseñado en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente de granulometría densa; debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados, en términos de estimar el comportamiento en campo, se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. (Garnica, 2005, p. 35)

El método Marshall utiliza especímenes para prueba de 64 mm (2 ½") de altura y 102 mm (4") de diámetro, su procedimiento es específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado (ASTM D1559); los aspectos principales de dicho método son la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. (Garnica, 2005, p. 36)

El valor de estabilidad es la resistencia estructural de la mezcla, afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica compactada y el tipo de agregado, principalmente el valor de la estabilidad es un índice de la calidad del agregado. (Tinoco, 2011, p. 106)

El valor de flujo es la deformación requerida en el sentido del diámetro del espécimen, para poder provocar su fractura, este valor es un indicador para alcanzar una condición plástica de la mezcla, así como de la resistencia que ofrecerá la carpeta a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos. (Tinoco, 2011, p. 106)

El método Marshall establece requisitos para la granulometría y los parámetros volumétricos de la mezcla; los requisitos de calidad del agregado y del asfalto los fijan las dependencias encargadas del desarrollo de la infraestructura; en el caso de México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es el organismo que establece los requisitos que deben cumplirse para diseño y control de mezclas asfálticas. (Garnica, 2005, p. 36)

De acuerdo con la Norma N-CMT-4-04/17 (Normativa. Características de los materiales. 4. Materiales para pavimentos. 04. Materiales pétreos para mezclas asfálticas), los materiales pétreos deben de contar con las siguientes características (SCT, 2017, p. 5):

En la tabla 1, se dan a conocer los estándares de calidad del material pétreo para las mezclas asfálticas de granulometría densa.

En la tabla 2, se muestran los requisitos de la granulometría que debe contar una mezcla asfáltica, en el caso de la presente investigación, se tiene un tamaño nominal de 3/8" para las mezclas asfálticas comerciales mientras que para la mezcla elaborada con materiales pétreos del banco "Las peras", se tiene un tamaño nominal de 3/4".

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material

que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica. (Walter, 2012, p.29)

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, es en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y líneas de control (superior e inferior), las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. (Walter, 2012, p.29)

Tabla 1.

Calidad del material pétreo.

Característica ^[1]		Valor
GRAVA		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Desgaste de Los Ángeles, %, máximo		30
Desgaste Microdeval, %, máximo		18
Intemperismo acelerado, %, (5 ciclos), máximo ^[2]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo		40
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	95
	Dos o más caras	85
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
ARENA Y FINOS		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2,4
Angularidad, %, mínimo		45
Equivalente de arena; %, mínimo		50
Azul de metileno, mg/g, máximo		15

[1] El material será 100% producto de trituración de roca sana.

[2] Será suficiente que el intemperismo acelerado cumpla con una de las dos condiciones: en sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

Fuente: N-CMT-4-04/17. <https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#>

Tabla 2.

Condiciones de granulometría del material pétreo.

Malla		Tamaño nominal del material pétreo ^[1]				
Abertura mm	Designación	mm (in)				
		9,5 ($\frac{3}{8}$)	12,5 ($\frac{1}{2}$)	19 ($\frac{3}{4}$)	25 (1)	37,5 ($1\frac{1}{2}$)
Porcentaje que pasa (en masa)						
50	2 in	---	---	---	---	100
37,5	1½ in	---	---	---	100	90 - 100
25	1 in	---	---	100	90 - 100	74 - 90
19	¾ in	---	100	90 - 100	79 - 92	62 - 83
12,5	½ in	100	90 - 100	72 - 89	58 - 81	46 - 74
9,5	⅜ in	90 - 100	76 - 92	60 - 82	47 - 75	39 - 68
6,3	¼ in	70 - 89	56 - 81	44 - 71	36 - 65	30 - 59
4,75	Nº4	56 - 82	45 - 74	37 - 64	30 - 58	25 - 53
2	Nº10	28 - 64	25 - 55	20 - 46	17 - 42	13 - 38
0,85	Nº20	18 - 49	15 - 42	12 - 35	9 - 31	6 - 28
0,425	Nº40	13 - 37	11 - 32	8 - 27	5 - 24	3 - 21
0,25	Nº60	10 - 29	8 - 25	6 - 21	4 - 19	2 - 16
0,15	Nº100	6 - 21	5 - 18	4 - 16	2 - 14	1 - 12
0,075	Nº200	2 - 10	2 - 9	2 - 8	1 - 7	0 - 6

[1] El tamaño nominal de un material pétreo es la abertura de la malla con la que se designa el material que cumpla con una determinada granulometría.

Fuente: N-CMT-4-04/17. <https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#CMT>.

A continuación, en la tabla 3, se muestra los requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría densa, de acuerdo a la normativa N-CMT-4-05-003/16.

Tabla 3.

Calidad para mezclas asfálticas de granulometría densa, mediante método Marshall.

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL ^[1]	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ ^[2]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lbr), mínimo	5 340 (1 200)	8 000 (1 800)
Flujo; mm (10^{-2} in)	2 - 4 (8 - 16)	2 - 3,5 (8 - 14)
Vacios en la mezcla asfáltica (VMC); %	3 - 5	3 - 5
Vacios ocupados por el asfalto (VFA); %	65 - 78	65 - 75

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Para tránsitos mayores de 10^7 ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla.

Fuente: N-CMT-4-05/16. <https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#>

“Los requisitos volumétricos de diseño Marshall son para un contenido de aire de 4%, y están basados en los volúmenes de tránsito estimados para la vida de diseño del pavimento y en los requisitos de compactación del espécimen” (Garnica, 2005, p. 39).

En la tabla 4, se muestran los requisitos de los vacíos de aire que debe cumplir una mezcla asfáltica.

Tabla 4.

Vacíos en el agregado mineral (VAM), con el método Marshall.

Tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla ^[1]		Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) de diseño %		
		3	4	5
mm	Designación	Vacíos en el agregado mineral (VAM) %, mínimo		
9,5	3/8"	14	15	16
12,5	1/2"	13	14	15
19	3/4"	12	13	14
25	1"	11	12	13
37,5	1 1/2"	10	11	12

[1] El tamaño nominal corresponde al indicado en la Cláusula D. de la Norma N-CMT-4-04, *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, para el tipo y granulometría del material pétreo utilizado en la mezcla.

Fuente: N-CMT-4-05/16. <https://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#>

2.2 Caracterización de las mezclas asfálticas comerciales.

1. Primero se realizó el análisis granulométrico de acuerdo a la norma N.CMT.4.04/17 (Norma Características de los materiales, 4 Materiales para Pavimentos. 04 materiales Pétreos para mezclas asfálticas) de las mezclas comerciales (Solubache y Bachemix).
2. En esta parte se procedió a determinar el contenido de residuo asfáltico de las mezclas comerciales, mediante la extracción por centrifugado; el cual consistió en someter una porción del producto a un lavado haciendo uso de la máquina Rotarex, en la cual se tiene que aplicar un movimiento centrífugo para poder separar residuos asfálticos de las partículas del material pétreo, obteniendo el contenido de cemento asfáltico (C.A).

2.3 Procedimiento del Método Marshall.

A continuación, se enlista los pasos a seguir para la aplicación del método Marshall, de acuerdo a las "Normas para muestreo y prueba de los materiales, equipos y sistemas"

de la SCT, para obtener datos del desempeño mecánico y volumétrico de las mezclas asfálticas en frío:

1. Primero se procedió a pesar 1,200 g de material asfáltico (Solubache y Bachemix).
2. En seguida se procedió a colocar un papel filtro en la base de la probeta, después se colocó el collarín para poder vaciar la mezcla dentro de la probeta, se punzó de 15 a 20 veces con la ayuda de una espátula para acomodar el material, también se colocó otro papel filtro en la otra cara de la probeta.
3. Se procedió a compactar la probeta con el martillo compactador estándar, dándole 75 golpes a cada una de las caras de la probeta.
4. Una vez terminado el proceso de compactación, se procede a desmoldar las pastillas con la ayuda de un gato hidráulico y se miden los espesores, también se retira el papel filtro de ambas caras. Se elaboraron 4 pastillas con cada una de las mezclas asfálticas comerciales, obteniendo un total de 8 pastillas.
5. En este punto se procedió a pesar las pastillas secas en una báscula, obteniendo el peso sin recubrimiento al aire, después se recubrieron con estearato de zinc y nuevamente se pesaron.
6. Una vez recubiertos de estearato de zinc y pesados en seco, se sumergieron en agua y determinó su peso sumergido en agua, con estos datos se determinó el peso volumétrico de las pastillas.
7. Después se llevaron las muestras cilíndricas a la máquina de prueba Marshall, donde se sometieron a una carga a una velocidad constante hasta que se produjo la falla, obteniendo los parámetros de estabilidad (carga máxima) y flujo (punto máximo de deformación) de cada una de las muestras.

8. Por último, se realizó el registro de los datos obtenidos en una tabla.

En seguida se enuncian los pasos del diseño con el Método Marshall de la mezcla asfáltica elaborada con materiales pétreos del banco “Las peras”, ubicado en San Cristóbal de las Casas:

A. Primero se tomó en cuenta previamente los siguientes requisitos:

- El tipo de emulsión utilizado es emulsión catiónica superestable (ECS – 60).
- Se realizaron las pruebas de laboratorio en una mezcla asfáltica de granulometría densa, con tamaño nominal del material pétreo de 19.0 mm (3/4”).
- Se consideró un número de ejes equivalentes de diseño para tráficos mayores: $10^6 < \sum L \leq 10^7$.

B. En seguida se procede a realizar la caracterización de los materiales pétreos, de acuerdo a la normativa: N-CMT-4-04/17, se contó con el apoyo del laboratorio de materiales de Servicios Técnicos de la Secretaria de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes del estado de Chiapas.

C. Después se procede a realizar la caracterización de la emulsión asfáltica ECS - 60.

D. En esta parte, se procedió a obtener la granulometría propuesta para realizar la mezcla asfáltica.

E. En seguida se procedió a realizar la homogenización de la emulsión asfáltica con el material pétreo, hasta obtener una mezcla de color negro en su totalidad. Se elaboraron 3 pastillas con cada una de los siguientes contenidos asfálticos (4.0 %, 4.5 %, 5.0 %, 5.5%, 6.0 %, 6.5 %, 7.0 %). En total se realizaron 21 pastillas cilíndricas para la aplicación del ensayo Marshall.

F. Se pesó 1,200 g de material asfáltico homogenizado.

- G. En seguida se procedió a colocar un papel filtro en la base de la probeta, después se colocó el collarín para poder vaciar la mezcla dentro de la probeta, se punzó de 15 a 20 veces con la ayuda de una espátula para acomodar el material, también se colocó otro papel filtro en la otra cara de la probeta.
- H. Se procedió a compactar la probeta con el martillo compactador estándar, dándole 75 golpes a cada una de las caras de la probeta.
- I. Una vez terminado el proceso de compactación, se procede a desmoldar las pastillas con la ayuda de un gato hidráulico y se miden los espesores, también se retira el papel filtro de ambas caras.
- J. En este punto se procedió a pesar las pastillas secas en una báscula, obteniendo el peso sin recubrimiento al aire, después se recubrieron con estearato de zinc y nuevamente se pesaron.
- K. Una vez recubiertos de estearato de zinc y pesados en seco, se sumergieron en agua y determinó su peso sumergido en agua, con estos datos se determinó el peso volumétrico de las pastillas.
- L. Después se llevaron las muestras cilíndricas a la máquina de prueba Marshall, donde se sometieron a una carga a una velocidad constante hasta que se produjo la falla, obteniendo los parámetros de estabilidad (carga máxima) y flujo (punto máximo de deformación) de cada una de las muestras.
- M. Por último, se realizó el registro de los datos obtenidos en una tabla.

Resultados y Discusión.

En este capítulo se darán a conocer los resultados obtenidos de la aplicación de las pruebas de laboratorio de cada una de las mezclas asfálticas en frío, así como también su análisis correspondiente utilizando tablas y graficas.

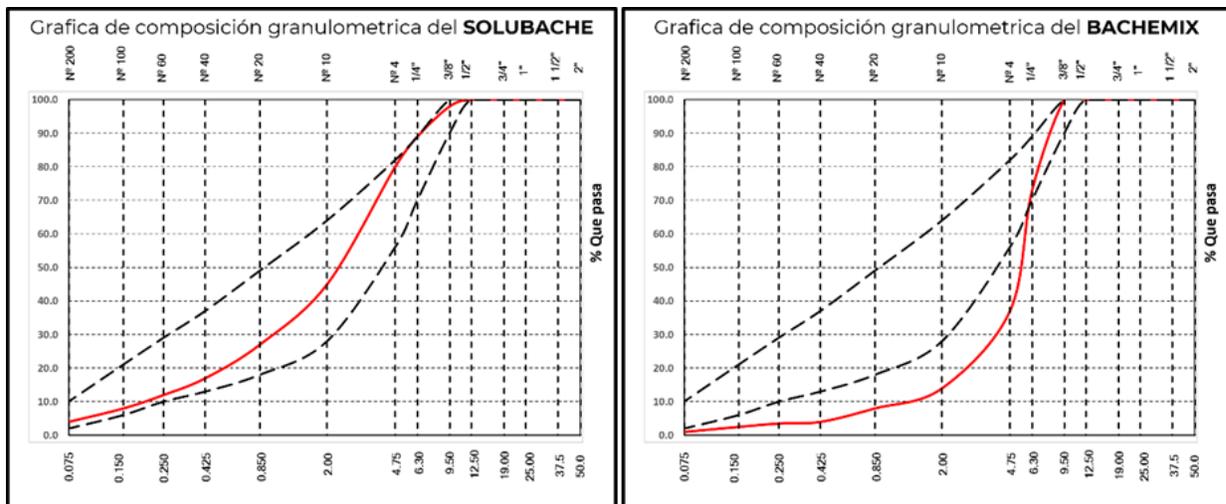
3.1 Resultados.

Primero se darán a conocer los resultados del análisis de las mezclas comerciales (Solubache® y Bachemix®) y posteriormente se dará a conocer los resultados del diseño de la mezcla asfáltica en frío con materiales pétreos del banco “Las peras”, aplicando el método Marshall.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de granulometría de las mezclas asfálticas comerciales:

Figura 10.

Resultados y comparativa de la granulometría de las mezclas asfálticas comerciales (Solubache® y Bachemix®).



Fuente: Elaboración propia formatos normados por SCT, febrero 2024.

De igual manera, se muestran los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas comerciales de la aplicación de la prueba de contenido asfáltico, mediante la extracción por centrifugado con el empleo de la máquina Rotarex, y los datos obtenidos de la aplicación del método Marshall, obteniendo valores de pesos volumétricos, porcentaje de vacíos, estabilidad y deformación al alcanzarse su máxima resistencia (flujo).

En base a los resultados obtenidos de ambas mezclas se tiene la siguiente comparativa:

Tabla 5.

Resultados y comparativa de las características de las mezclas asfálticas comerciales.

Características del espécimen	Valores obtenidos		Especificaciones
	SOLUBACHE	BACHEMIX	
Contenido de asfalto, %	6.20	7.62	± 0.10
Peso específico, Kg/m ³	2180.60	2190	-
Estabilidad, kg	1033.20	535	544 min
Flujo, mm	2.0	2.45	2 – 4
vacíos, %	5.36	6.49	3 – 5
V.A.M; %, min	17.87	21.73	11
V.F.A, %	70.12	70.42	65 – 78

Fuente: Elaboración propia con resultados realizados en laboratorio de SCT.

En seguida, se muestran imágenes de la aplicación de la prueba Marshall:



Figura 11.
Homogenización del material pétreo.



Figura 12. Probetas



Figura 13. Compactación.



Figura 14.

Lectura de estabilidad y flujo.



Figura 15. *Recubrimiento con estearato de zinc.*



Figura 16. *Probetas.*

Fuente: Fotografía formato JPG, López Díaz Jacqueline (2024).

A hora bien, se muestran los resultados de caracterización del material pétreo del banco “Las peras” (tabla 6) y los resultados obtenidos de la aplicación de la prueba Marshall a las probetas elaboradas con materiales pétreos del banco “Las peras” (tabla 7):

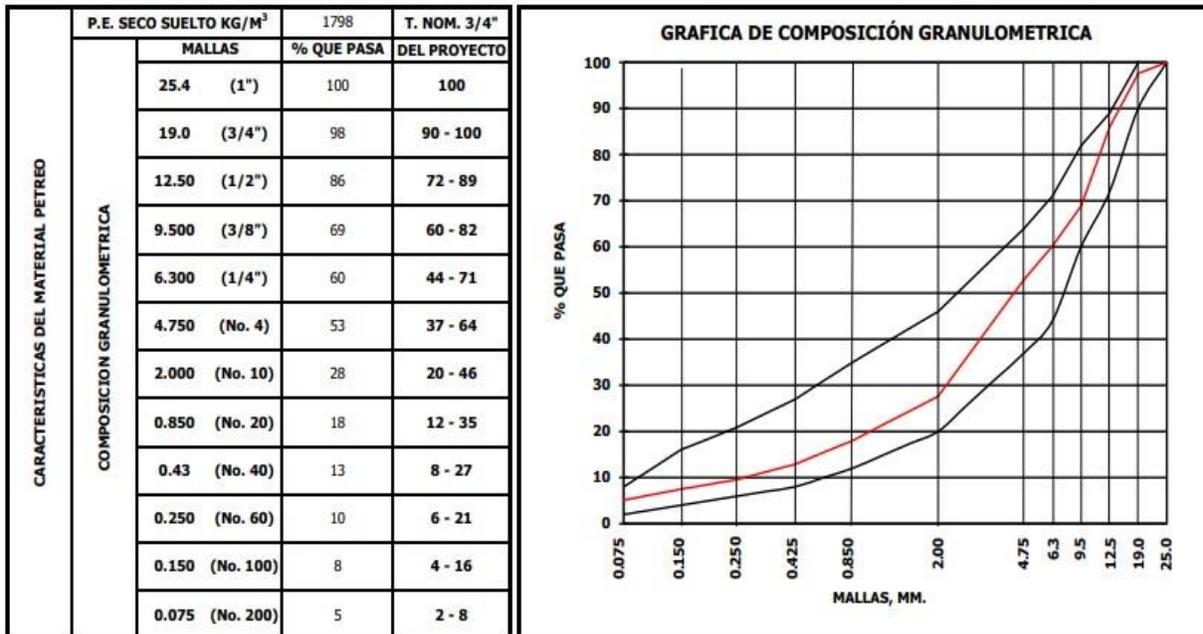
Tabla 6.

Informe de la prueba de granulometría y calidades del material pétreo del banco “Las peras”.

INFORME DE MATERIALES PETREOS PARA MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO

OBRA: _____	ENSAYE No. _____
_____	FECHA DE MUESTREO: _____
_____	FECHA DE INFORME: _____

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: MEZCLA 40/30/30; 40% DE GRAVA DE 3/4" A N° 4, 30% ARENA CALIZA Y 30% POLVO DE TRITURACIÓN CALIZO	PARA USARSE EN: _____
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: MEZCLA DE DISEÑO	BACHEO SUPERFICIAL
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO: MEZCLADO EN LABORATORIO CENTRAL	_____
	UBICACIÓN DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL PÉTREO: BANCO "LAS PERAS", UBICADO EN EL KM. 88+000, DESVIACIÓN LADO IZQ. DE LA CARRETERA TUXTLA GUTIÉRREZ - COMITÁN	



PRUEBAS REALIZADAS AL MATERIAL GRUESO (GRAVA)			PRUEBAS REALIZADA AL MATERIAL FINO (ARENA)		
		ESPECIFICACIONES S.C.T.			ESPECIFICACIONES S.C.T.
DENSIDAD RELATIVA	2.68	2.4 MÍNIMO	DENSIDAD RELATIVA	2.65	2.4 MÍNIMO
DESGASTE LOS ANGELES %	25.3	35 MÁXIMO	ANGULARIDAD, %	48	40 MÍNIMO
DESGASTE MICRODEVAL, %	15.8	18 MÁXIMO	EQUIVALENTE DE ARENA, %	79.3	45 MÍNIMO
INTERPERISMO ACELERADO, %	12.5	15 MÁXIMO (SULFATO DE SODIO)	AZUL DE METILENO, mg/g	10.4	18 MÁXIMO
PART. ALARGADAS Y LAJEADAS, %	29	40 MÁXIMO	LIMITE LIQUIDO, %	20.2	-
PARTICULAS TRITURADAS, %			LIMITE PLASTICO, %	N.P.	-
UNA CARA	96	90 MÍNIMO	INDICE PLASTICO	-	-
DOS O MÁS CARAS	90	80 MÍNIMO	CONTRACCION LINEAL, %	0.6	-
DESPRENDIMIENTO POR FRICCION, %	16.1	20 MÁXIMO	CLASIFICACION (SUCS)		SP-SM

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

LA MUESTRA ANALIZADA PRESENTA CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ACEPTABLES SEGÚN LA NORMA DE CALIDAD S.C.T. N-CMT-4-04/17, TABLA 1 Y TABLA 2.

Fuente: Elaboración propia con formatos normados por SCT, febrero 2024.

Tabla 7.
Resultados del cálculo de prueba Marshall.

CALCULO DE PRUEBA MARSHALL

ENSAJE No.	PROBETA No.	% DE C.A. EN PESO		PESO ESPECIMEN (g)		VOLUMEN ESPECIMEN (cm ³)			PESO VOLUMET. MÁXIMA (kg/m ³)	DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (kg/m ³)	VOLUMEN % TOTAL			% VACIOS		LECTURA MICROMETRO	ALtura ESPECIMEN (Cm.)	ESTABILIDAD (Kg.)	FACTOR DE CORREC.	ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg.)	FLUIDO			
		A	B	C	D	E	F	G			H	I	J	K	L						M	N	O	P
5	1	4.0	3.85	1157.7	1155.1	671.7	2.6	486.0	2.37	483.6	2.557	9.08	83.21	7.72	16.79	54.05	1402	6.35	1402	1.000	1402	1402	0.01"	2.47
6	2	4.0	3.85	1158.8	1156.4	670.6	2.4	488.2	2.19	486.0	2.567	9.04	82.89	8.07	17.11	52.85	1403	6.36	1403	0.998	1400	1400	0.01"	2.53
7	3	4.0	3.85	1158.7	1155.7	670.4	3.0	488.3	2.74	485.5	2.580	9.05	82.92	8.04	17.08	52.95	1399	6.34	1399	1.002	1402	1402	0.01"	2.51
											2383	9.06	83.00	7.94	17.00	53.28						1401		2.50
8	1	4.5	4.31	1162.1	1158.9	677.3	3.2	484.8	2.92	481.9	2405	10.23	83.38	6.39	16.62	61.57	1457	6.34	1457	1.002	1460	1460	0.01"	2.68
9	2	4.5	4.31	1159.7	1157.3	676.6	2.4	483.1	2.19	480.9	2406	10.24	83.43	6.33	16.57	61.81	1451	6.35	1451	1.000	1451	1451	0.01"	2.59
10	3	4.5	4.31	1162.0	1159.2	675.2	2.8	486.8	2.56	484.2	2394	10.19	83.00	6.82	17.00	59.89	1464	6.34	1464	1.002	1467	1467	0.01"	2.70
											2402	10.22	83.27	6.51	16.73	61.09						1459		2.66
11	1	5.0	4.76	1160.2	1158.2	679.9	2.0	480.3	1.83	478.5	2421	11.37	83.53	5.10	16.47	69.06	1508	6.36	1508	0.998	1505	1505	0.01"	2.81
12	2	5.0	4.76	1162.5	1159.7	679.2	2.8	483.3	2.56	480.7	2412	11.34	83.24	5.42	16.76	67.64	1507	6.33	1507	1.004	1513	1513	0.01"	2.84
13	3	5.0	4.76	1161.8	1158.6	678.8	3.2	483.0	2.92	480.1	2413	11.34	83.28	5.38	16.72	67.82	1498	6.31	1498	1.008	1510	1510	0.01"	2.93
											2415	11.35	83.35	5.30	16.65	68.17						1509		2.86
14	1	5.5	5.21	1168.6	1166.6	684.4	2.0	484.2	1.83	482.4	2418	12.44	83.06	4.50	16.94	73.43	1528	6.35	1528	1.000	1528	1528	0.01"	3.11
15	2	5.5	5.21	1166.9	1164.7	684.7	2.2	482.2	2.01	480.2	2425	12.47	83.30	4.22	16.70	74.71	1534	6.33	1534	1.004	1540	1540	0.01"	3.08
16	3	5.5	5.21	1168.4	1165.6	685.2	2.8	483.2	2.56	480.6	2425	12.47	83.29	4.24	16.71	74.63	1520	6.32	1520	1.006	1529	1529	0.01"	2.96
											2423	12.46	83.22	4.32	16.78	74.25						1532		3.05
17	1	6.0	5.66	1169.7	1166.7	684.3	3.0	485.4	2.74	482.7	2417	13.51	82.62	3.87	17.38	77.73	1484	6.20	1484	1.040	1543	1543	0.01"	3.23
18	2	6.0	5.66	1167.4	1165.6	684.6	1.8	482.8	1.64	481.2	2422	13.54	82.80	3.66	17.20	78.71	1475	6.24	1475	1.028	1516	1516	0.01"	3.29
19	3	6.0	5.66	1167.8	1165.8	685.2	2.0	482.6	1.83	480.8	2425	13.55	82.88	3.57	17.12	79.16	1488	6.22	1488	1.034	1539	1539	0.01"	3.30
											2422	13.53	82.77	3.70	17.23	78.53						1533		3.27
20	1	6.5	6.10	1170.9	1169.3	684.5	1.6	486.4	1.46	484.9	2411	14.52	82.03	3.45	17.97	80.82	1495	6.32	1495	1.006	1504	1504	0.01"	3.54
21	2	6.5	6.10	1173.0	1170.2	686.6	2.8	486.4	2.56	483.8	2419	14.56	82.28	3.15	17.72	82.20	1499	6.34	1499	1.002	1502	1502	0.01"	3.50
22	3	6.5	6.10	1173.8	1171.6	685.7	2.2	488.1	2.01	486.1	2410	14.51	82.00	3.49	18.00	80.64	1510	6.30	1510	1.010	1525	1525	0.01"	3.62
											2413	14.53	82.11	3.36	17.89	81.22						1510		3.55
23	1	7.0	6.54	1170.6	1168.4	681.7	2.2	488.9	2.01	486.9	2400	15.49	81.26	3.25	18.74	82.67	1448	6.28	1448	1.016	1471	1471	0.01"	3.84
24	2	7.0	6.54	1172.5	1169.9	682.5	2.6	490.0	2.37	487.6	2399	15.46	81.24	3.27	18.76	82.57	1443	6.30	1443	1.010	1457	1457	0.01"	3.89
25	3	7.0	6.54	1173.6	1171.6	682.1	2.0	491.5	1.83	489.7	2393	15.45	81.02	3.53	18.98	81.38	1458	6.33	1458	1.004	1464	1464	0.01"	3.87
											2397	15.48	81.17	3.35	18.83	82.21						1464		3.87

Fuente: Elaboración propia formatos normados por SCT, febrero 2024.

Por último, de la tabla anterior se obtiene información para graficar y analizar el comportamiento mecánico y volumétrico de la mezcla en frío.

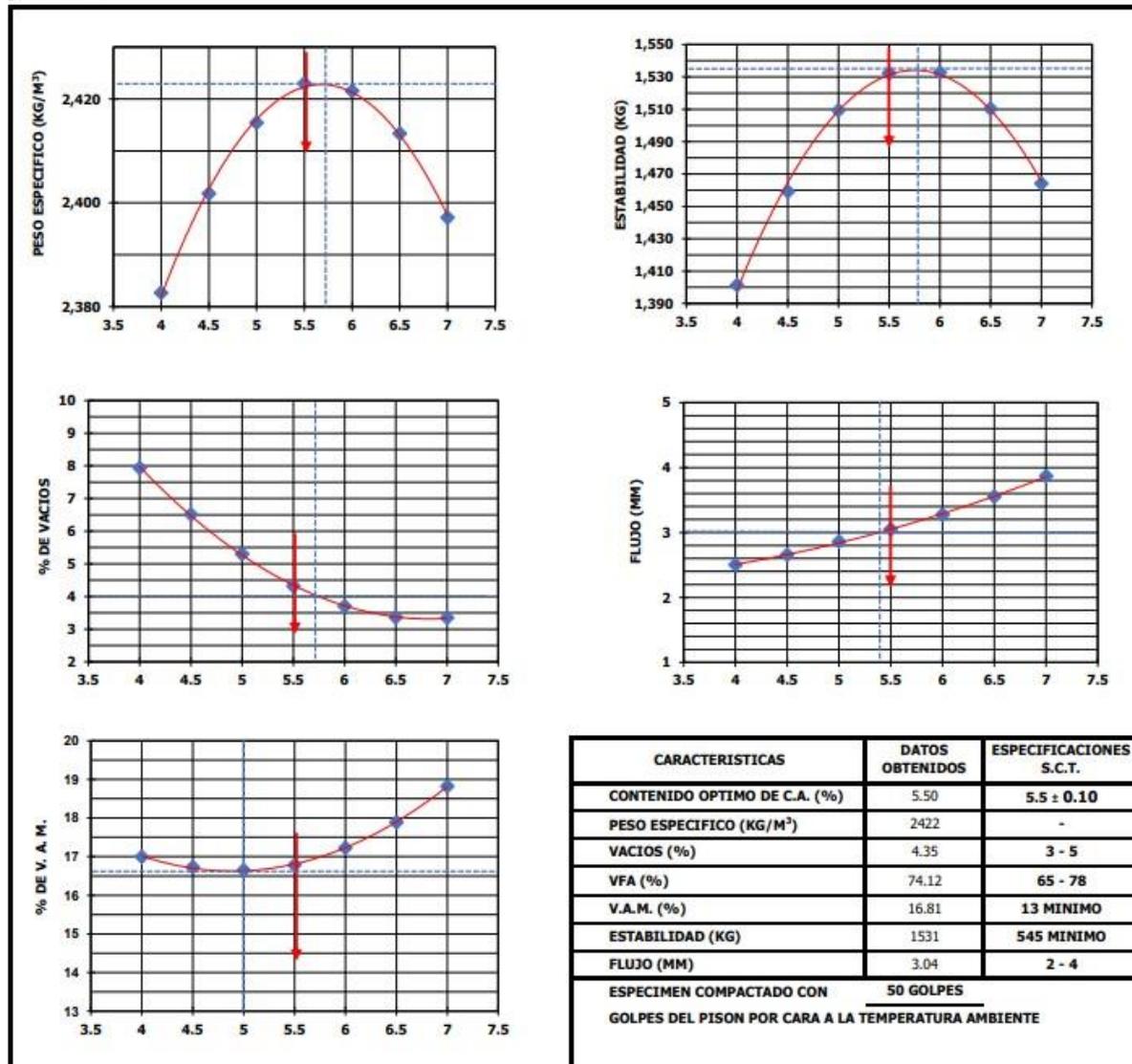
Tabla 8.

Gráficas obtenidas de la prueba Marshall.

GRAFICA PARA PRUEBA MARSHALL

OBRA: _____	ENSAYE No. _____
_____	FECHA DE RECIBO: _____
_____	FECHA DE INFORME: _____

MATERIAL PROCEDENTE DEL BANCO: BANCO "LAS PERAS"
UBICACIÓN: UBICADO EN EL KM. 88+000, DESVIACIÓN 3 KM LADO IZQ, DE LA CARRETERA TUXTLA GUTIÉRREZ - COMITÁN.



Fuente: Elaboración propia, formatos normados por SCT, febrero 2024.

3.2 Discusión.

En este apartado se realizará el análisis e interpretación de los datos obtenidos que se mencionaron anteriormente.

Analizando los datos obtenidos de la granulometría de cada una de las mezclas asfálticas comerciales de la figura 1, el producto denominado "**SOLUBACHE**", se puede observar que la composición granulométrica satisface los requisitos de calidad, mientras que el producto denominado "**BACHEMIX**"; no reúne los requisitos de calidad en la composición granulométrica.

Al realizar el análisis de los resultados de la tabla 6.1, se puede observar que el producto denominado "**SOLUBACHE**", satisface en su mayoría los requisitos de calidad de las propiedades de la mezcla con excepción de los vacíos, mientras que el producto denominado "**BACHEMIX**", no cumple con los estándares de calidad requeridos en cuanto a estabilidad y vacíos, esto nos indica que niveles elevados de vacíos suelen estar relacionados con mezclas que son altamente permeables, lo que permite el paso de aire y agua. Esta permeabilidad provocaría endurecimiento prematuro del producto y así como también el desprendimiento del agregado.

En seguida se analizan los datos obtenidos de la tabla 6.1.1, se observa que los materiales pétreos del banco "Las peras" cumplen con la granulometría, además cumplen con las calidades de acuerdo con las especificaciones de la normativa: N-CMT-4-04/17.

De igual manera se analizan los datos obtenidos de la tabla 6.1.2, se observa los siguientes puntos:

- ✚ El menor volumen de vacíos de aire se presenta en la probeta con un contenido asfáltico de 7.0 %.
- ✚ El menor vacío en el agregado mineral (VAM) se presenta en la probeta con un contenido asfáltico de 5.0 %.
- ✚ La mayor estabilidad obtenida es en la probeta con un contenido asfáltico de 6.0 %.
- ✚ El menor flujo (deformación) se presenta en la probeta con un contenido asfáltico de 4.0 %.

Por último, se analizará los datos obtenidos de la tabla 6.1.3, estos resultados son de mucha relevancia para la elección del contenido óptimo de la emulsión asfáltica en la elaboración de mezclas asfálticas en frío, de las cinco graficas se observan los siguientes puntos:

- ✚ En la gráfica peso específico – contenido asfáltico, se obtiene el mayor valor del peso específico con un contenido asfáltico (C.A) entre 5.5 % y 5.7 %. Se tomó el peso específico de 2,422 con C.A de 5.5%.

- ✚ En la gráfica estabilidad – contenido asfáltico, se obtiene la mayor estabilidad para un C.A de 5.5 % Y 5.8 %. Se tomó la estabilidad de 1,531 para un C.A de 5.5 %.

- ✚ En la gráfica vacíos de aire – contenido asfáltico, se obtiene el menor vacíos de aire para un C.A de 7%. Se tomó los vacíos de 4.35 % con un C.A de 5.5 %.

- ✚ En la gráfica flujo – contenido asfáltico, se obtiene la menor deformación para un C.A de 4%. Se tomó la deformación de 3.04 mm con un C.A de 5.5 %.

- ✚ En la gráfica vacíos en el agregado mineral – contenido asfáltico, se obtiene menor vacíos en el agregado mineral para un C.A de 5%. Se tomó los vacíos de 16.81 con un C.A de 5.5 %.

Conclusiones.

Esta investigación de tesis relacionada al análisis de la mezcla asfáltica en frío para bacheo superficial aislado en trabajos de conservación rutinaria en el estado de Chiapas, de acuerdo a los resultados obtenidos y la discusión antes mencionados, se puede concluir mencionando los siguientes puntos:

1. En cuanto al análisis granulométrico de las mezclas asfálticas en frío, en el estudio realizado se consideró un tamaño nominal de las mezclas asfálticas comerciales (SOLUBACHE Y BACHEMIX) de 3/8”.

Por lo tanto, de acuerdo con los datos obtenidos se puede concluir que del producto denominado

“**SOLUBACHE**”; se puede observar que la composición granulométrica satisface los requisitos de calidad, mientras que, del producto denominado “**BACHEMIX**”; no reúne los requisitos de calidad en la composición granulométrica. De este último producto de mezcla asfáltica, se recomienda tomar consideraciones y realizar nuevos estudios para mejorar la forma de la partícula de los agregados pétreos realizando una trituración adecuada de los mismos, para obtener una composición granulométrica que cumpla con los requisitos de calidad.

2. En cuanto al diseño de una mezcla asfáltica en frío con materiales pétreos del banco “**Las Peras**”, aplicando el método Marshall, se obtuvieron datos de buena calidad de los materiales pétreos (gravas, arenas y finos), así también de estabilidad, flujo, vacíos del agregado mineral y vacíos de aire, con un contenido óptimo de emulsión asfáltica de 5.5 %.

Con lo anterior mencionado, se puede concluir que la mezcla diseñada con materiales pétreos del banco “Las peras”, cumple con los requisitos de calidad para su empleo en mezclas asfálticas en frío.

3. En cuanto al análisis de los resultados de estabilidad (capacidad de carga), flujo (deformación) y el comportamiento volumétrico de las tres mezclas asfálticas en frío analizadas en la tesis, se concluye que; del producto denominado “**BACHEMIX**”; no cumple con los estándares de calidad requeridos en cuanto a estabilidad y vacíos, esto nos indica que niveles elevados de vacíos suelen estar relacionados con mezclas que son altamente permeables, lo que permite el paso de aire y agua. Esta permeabilidad provocaría endurecimiento prematuro del producto y así como también el desprendimiento del agregado.

Con lo antes mencionado se recomienda, pequeñas reducciones en los vacíos, se lograrán mediante la adición de polvo mineral a la mezcla. También se recomienda agregar partículas de agregado con textura rugosa y superficies menos redondeadas, lo cual ayudará a obtener mayor estabilidad en la mezcla.

Ahora bien, en cuanto al producto denominado “**SOLUBACHE**”, se concluye que satisface en su mayoría las propiedades de la mezcla con excepción de los vacíos. Se recomienda la adición de polvo mineral a la mezcla para reducir dichos vacíos.

De acuerdo al análisis de la mezcla diseñada con materiales del banco “Las peras”, se concluye que satisface en su totalidad los requisitos de calidad en los valores de estabilidad y vacíos.

4. En cuanto a la determinación del contenido de cemento asfáltico de las diferentes mezclas en frío, se obtuvieron los siguientes datos:

Producto denominado "**BACHEMIX**", contenido asfáltico de 7.62 %.

Producto denominado "**SOLUBACHE**", contenido asfáltico de 6.20 %.

Mezcla diseñada con materiales del banco "Las peras", contenido asfáltico óptimo de 5.5 %.

Por lo tanto, se concluye que, tomando en cuenta los datos mencionados en los puntos anteriores, la mezcla asfáltica con menor contenido asfáltico presenta un mejor comportamiento mecánico, cumpliendo con los requisitos de calidad.

5. En cuanto a la hipótesis planteada en la investigación, se concluye que se cumplió y verificó el cumplimiento del mismo con la realización de las diferentes pruebas de laboratorio.

6. Aquí lo que interesa explicitar es lo que se relaciona con la pregunta formulada al inicio de esta investigación, esto es, qué mezcla asfáltica en frío (SOLUBACHE, BACHEMIX Y MEZCLA ELABORADA) tiene mejor comportamiento mecánico y volumétrico para su utilización en el tramo en estudio. Por lo tanto, se concluye que, la mezcla asfáltica con mejor comportamiento mecánico y volumétrico es la elaborada con materiales pétreos del banco "Las peras", cumpliendo las normas de calidad vigente de la SCT para su utilización en bacheos superficiales aislados del tramo San Cristóbal de las Casas – Comitán.

Referencias

CompraNet es el sistema electrónico de información pública gubernamental sobre adquisiciones, arrendamientos, servicios, obras públicas y servicios relacionados con las mismas.

<https://www.gob.mx/compranet/documentos/contratos-compranet-3-0>

Crespin Molina, R. A., Santa Cruz Jovel, I. E., Torres Linares, P. A. (2012). “Aplicación del método Marshall y granulometría Superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño” [tesis de licenciatura, Universidad de El Salvador].
https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1796/1/TESIS_FULL_CORR.pdf. Recuperado el 26 de diciembre de 2024.

Estado del arte, Diseño de Mezclas Asfálticas, capítulo 1. P.2

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/caceres_m_ca/capitulo1.pdf

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO 2014

<https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Guias/guia-carreteras.pdf>

López Maldonado, G. (sin año). Diseño de mezclas asfálticas. Método Marshall. Universidad Politécnica de Valencia (sin fecha). <https://www.youtube.com/watch?v=JnTfjzWOgZ4>.
Recuperado el 28 de diciembre de 2023.

Prieto O., G. (2006). Dosificación de mezclas asfálticas en caliente. Método Marshall. Cátedra Construcción de carreteras [repositorio Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo], Argentina. <https://filadd.com>. Recuperado el 22 de diciembre de 2023.

Secretaría de Protección Civil. Comunicado de Prensa 055. Chiapas está preparado para la temporada de lluvias y ciclones tropicales 2023.
<https://proteccioncivil.chiapas.gob.mx/comunicado-055-15-05-23>. Recuperado el 24 de diciembre de 2023.

Servicio Sismológico Nacional. Instituto de Geofísica-UNAM. México. Recuperado de <http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/sismoMayor.pdf>. 23 de diciembre de 2023.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas. Publicación técnica núm. 271 (repositorio) Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México. 2005, México. [pt271.pdf](#). Recuperado el 14 de diciembre de 2023.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México. 2014, Primera edición, México.

<https://pdfcoffee.com/guia-de-procedimientos-y-tecnicas-para-la-conserv-de-carreteras-pdf-free.html>. Recuperado el 14 de diciembre de 2023.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. “Inversión millonaria en Chiapas para conservación de carreteras”. <https://www.meganoticias.mx/index.php/tuxtla-gutierrez/noticia/inversionmillonaria-en-chiapas-para-conservacion-de-carreteras/173823>. Recuperado el 27 de diciembre de 2023.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. N-CSV-CAR-2-02-003/16 Bacheo superficial aislado.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. N-CMT 4-05-003/08. Características de los materiales. 4 Materiales para pavimentos. 05 Materiales asfálticos, mezclas y aditivos. 003 Calidad de mezclas asfálticas para carreteras.

<https://upcpcompranet.gob.mx/saitiopublico/#/sitiopublico/detalle/ede760590ed04908993caeca4/procedimiento>. Recuperado el 22 de diciembre de 2023.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes . Conservación de Carreteras Federales | Conferencias sobre Programas del Bienestar

<https://www.gob.mx/stps/articulos/conservacion-de-carreteras-federales-conferencias-sobreprogramas-del-bienestar?idiom=es>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. El Mirador, Los caminos en México. un recorrido histórico

<https://elmirador.sct.gob.mx/manos-a-la-obra/los-caminos-en-mexico-un-recorrido-historico>.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Especificación particular (EP) Bacheo superficial aislado con mezcla asfáltica en frío, por unidad de obra terminada.

<https://normas.mx/busqueda-desplegable.html#003>. Recuperado el 22 de diciembre de 2023.

Procedimientos constructivos y control de calidad en la rehabilitación y conservación de pavimentos
<https://es.scribd.com/presentation/379595439/U-5-5-4>

¿Qué incide en el deterioro de una carpeta asfáltica?

<https://blog.vise.com.mx/-1>

Tesis: propuesta para la implementación de un sistema de administración de pavimentos para la red vial de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa. RAFAEL EDUARDO OSUNA RUIZ, 2008.