

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:
**“APLICACIÓN DE MICROAGLOMERADOS EN CALIENTE, COMO
SOLUCIÓN AL DESGASTE ACELERADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS”
(CARPETAS ASFÁLTICAS DELGADAS)**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
CHÁMUL FLORES, HERÁCLITO
GIRÓN ORELLANA, FRANCISCO JOSÉ
MAGAÑA PORTILLO, MARIO EDGARDO

DOCENTE DIRECTOR:
ING. JOSÉ ROLANDO CENTE MATAMOROS
ASESOR EXTERNO:
ING. CARLOS MATA TRIGUEROS

NOVIEMBRE, 2011
SANTA ANA EL SALVADOR CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

VICE-RECTOR ACADÉMICO

MAESTRA ANA MARÍA GLOWER DE ALVARADO

VICE- RECTOR ADMINISTRATIVO

LICDO. Y MASTER OSCAR NOE NAVARRETE

SECRETARIA GENERAL

DRA. ANA LETICIA DE AMAYA

FISCAL GENERAL INTERINO

LICDO.NELSON BOANERGES LOPEZ CARRILLO

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DECANO

LIC. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA

VICE-DECANO

ING. WILLIAM VIRGILIO ZAMORA

SECRETARIO DE FACULTAD

LICDO. VICTOR HUGO MERINO QUEZADA

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA EN
FUNCIONES**

ING. WILLIAM VIRGILIO ZAMORA

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

COORDINADOR GENERAL DE TRABAJO DE GRADO:

ING. WILLIAM VIRGILIO ZAMORA

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JOSÉ ROLANDO CENTE MATAMOROS

AGRADECIMIENTOS GENERALES

A DIOS, por concedernos la vida, por darnos la salud, fortaleza y sabiduría para culminar una etapa más en nuestras vidas.

A la Universidad de El Salvador, a través de los docentes por permitir realizar la investigación aprobando el tema de esta tesis.

A la Empresa ASFALCA, por todo el apoyo tanto técnico como humano, agradeciendo su ayuda para poder llevar a cabo todas las actividades necesarias para conformar este trabajo de grado. Gracias a la Empresa ASFALCA por darnos la oportunidad de realizar un trabajo tan satisfactorio como éste.

Al Ing. Rolando Cente, por habernos permitido trabajar con él, fueron de gran ayuda sus consejos y recomendaciones.

Al personal del Laboratorio de ASFALCA, por proporcionarnos su colaboración en la realización de este trabajo, se le agradece a Ing. Carlos Mata Trigueros (Asesor Externo), Ing. Alfredo Torres Dahbura, Tec. Carlos Joaquín Contreras (Don Pancho), Tec. José Alfidio Rauda Hernández. (Don Chepe), Ing. Raúl Magaña, Ing. Erick Calidonio, Tec. Manolo Majico; que en cada dificultad o alguna duda nos orientaron en el buen camino, así como de proporcionarnos los documentos con los que contaban facilitándonos nuestro trabajo de laboratorio.

Atte.

CHÁMUL FLORES, HERÁCLITO
GIRÓN ORELLANA, FRANCISCO JOSÉ
MAGAÑA PORTILLO, MARIO EDGARDO

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, Virgen María y mi Custodio que me guiaron y protegieron durante mi formación profesional, ayudándome a crecer como persona, madurando desde los inicios de estudiante universitario hasta llegar al culmen de la misma.

A Blanca Estela Flores, mi madre, ya que nunca faltó su apoyo y sus sabios consejos en mis estudios universitarios, lo que me proporcionó la visión para tomar siempre las mejores decisiones y siempre me adelanto so pena de las adversidades.

A mis hermanos Parménides, Aelohim, Perseo y Hércules porque siempre estuvieron pendientes de la finalización de mis estudios y tesis, y pude compartir muy de cerca con ellos lo aprendido a durante mi trabajo de tesis.

A Minerva Elizabeth por su compañía, apoyo y cariño, pilares que me ayudaron a continuar a pesar de las dificultades. Dándome fuerzas extras para seguir adelante.

A mis compañeros de tesis Francisco Girón y Mario E. Magaña por brindarme su amistad y compañerismo en los momentos que más necesite, y poder compartir con ellos el desarrollo de este trabajo de grado y crecer en lo profesional y personal.

A los docentes de la Universidad por su dedicación a nuestra formación, en lo humano y profesional, su cercanía y amistad. También por esos momentos en los que nos exigieron al máximo, haciéndonos ver que lo bueno no llega fácil, que todo requiere un esfuerzo.

A familia, amigos y compañeros con los quienes estuve en momentos alegres y difíciles ayudando al crecimiento profesional y humano.

HERÁCLITO CHAMUL FLORES

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso que me guio y protegió por el buen camino, hasta lograr culminar mis estudios universitarios con éxito profesional y personal, que me permitió trabajar al lado de un grupo de excelentes personas y amigos, doy gracias por la oportunidad de haber vivido las experiencias que me convirtieron en un mejor profesional y persona.

A mi madre Irma Leticia Portillo por haberme apoyado en el transcurso de mi carrera y de mi vida, demostrándome su apoyo en cada adversidad que surgió en el camino, con sus palabras de aliento que me hicieron seguir adelante, viendo en ella que en cada paso hay que luchar por sobresalir en esta vida, para poder aspirar a una mejor futuro.

A mi padre Mario Antonio Magaña (Q.E.P.D.) que aunque no esté conmigo su espíritu de trabajo me inspiro en estos años de estudio, para lograr la tan esperada meta, el culminar mi carrera universitaria; siempre recordare con cariño y respeto las enseñanzas que en el poco tiempo que estuvo a mi lado compartió en mi.

A mis hermanos José Antonio Magaña e Irma Leticia Magaña por brindarme su apoyo y ayuda en todo momento; su compañía en los momentos más difíciles de estos últimos meses, ha hecho que estos recuerdos sean gratos, ya que su presencia es muy importante en mi vida.

A mis compañeros de tesis Francisco Girón y Heraclio Chamul por brindarme la oportunidad de haber trabajado junto a ellos en este trabajo de grado, por brindarme su amistad y compañerismo en los momentos que más necesite, por permitirme desarrollarme como persona y profesional a su lado.

A mis docentes por inculcarme sus conocimientos los cuales me dieron diferentes puntos de vista, los cuales me permitieron observar mí alrededor de una manera distinta, haciéndome capaz de poder ver mi visión de lo que espero ser de profesional.

A Jenni Linares por acompañarme y brindarme su apoyo en mi estudio y en el desarrollo de este trabajo; su presencia ha hecho que cada dificultad se vea aminorada, gracias por estar en cada paso de mi vida.

A mi familia en general por ayudarme de una u otra manera a lo largo de toda la carrera para poder salir adelante.

A mis amigos y compañeros por brindarme su amistad y ayuda a lo largo de toda la carrera.

MARIO EDGARDO MAGAÑA PORTILLO

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por iluminarme y guiarme por el buen camino, por ponerme en frente personas de bien y buenos amigos, por darme sabiduría y fortaleza para culminar con mi carrera.

A mis Padres, porque gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar una de mis metas de mi vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mi se depositó y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecido.

A mi Madre, Filomena de Girón, que me brindó todo su apoyo moral y económico, por creer en mí y cuidarme, estar conmigo en las enfermedades y alegrías, por soportarme y por todo el apoyo recibido durante mi formación profesional.

A mi Padre, Francisco Benedicto Girón, pilar de nuestra familia, gracias por inculcarnos disciplina y valores, por nunca dejarme desviarme del camino, por el sacrificio que hizo para que yo terminara mis estudios.

A mis hermanos, Alex y Gabriela, por brindarme su apoyo y comprensión, por aguantarme y tenerme paciencia.

A una persona muy especial, Mercedes Verónica Rivas, por todo el amor y el apoyo brindado incondicionalmente y porque siempre estuviste a mi lado en los momentos difíciles, gracias por permanecer conmigo siempre y por compartir tus conocimientos, alegrías y tristezas.

A mis compañeros de tesis, Mario Magaña y Heráclito Chámul, por brindarme la amistad y apoyo mutuo, por trabajar en equipo a lo largo de toda la realización de la tesis lo cual fue una grata experiencia.

A todos mis compañeros de la Universidad, quienes compartimos muchos gratos recuerdos y algunos dolorosos y difíciles como fue la partida de nuestro amigo y compañero Francia Murcia (Q. D. D. G.) pero que lo recordaremos siempre.

A los docentes, que formaron parte de mi formación profesional y personal, gracias por otorgar sus conocimientos y ayudarnos en las distintas actividades a lo largo de nuestra carrera. En particular a nuestro docente director Ing. Rolando Cente, quien nos orientó para que este trabajo de grado sea finalizado.

A la empresa ASFALCA S.A. de C.V., por tener la buena disposición de brindarnos el equipo de laboratorio y asesoría técnica para que esta investigación se realice.

Demás personas que directa e indirectamente ayudaron a que este trabajo de grado sea terminado, estoy eternamente agradecido.

FRANCISCO JOSÉ GIRÓN ORELLANA.

ÍNDICE

Contenido

Nº de Pág.

¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE IMÁGENES

Imagen	Nº de Pág.
CAPITULO I. GENERALIDADES	
Imagen 1.1. Huso granulométrico del D-8.....	30
Imagen 1.2. Equipo Técnico	32
Imagen 1.3. Desgaste de Pavimento flexible.....	33
Imagen 1.4. Degradación de ambiental.....	34
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	
Imagen 2.1. Transferencia de carga a través de la estructura del pavimento.....	42
Imagen 2.2. Estructura típico de pavimento flexible.	45
Imagen 2.3. Composición química del asfalto.	48
Imagen 2.4. Compatibilidad asfalto- polímero	50
Imagen 2.5. Comportamiento asfalto convencional vrs. Asfalto modificado.....	51
Imagen 2.6. Indicadores de deterioro de pavimento	63
Imagen 2.7. Fisura Piel de Cocodrilo.....	68
Imagen 2.8. Pavimento en exudación	69
Imagen 2.9. Grietas en bloque.....	70
Imagen 2.10. Corrugación de alta severidad.	71
Imagen 2.11. Bache, con pérdida de material de base	72
Imagen 2.12. Pérdida de la capa de rodadura (peladura)	73
Imagen 2.13. Desgaste de áridos (agregados).....	74
Imagen 2.14. Administrador de Pavimentos.....	75
Imagen 2.15. Modelo Cuarto Carro.	87
Imagen 2.16. Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.	89

**CAPITULO III. PRUEBAS DE LABORATORIO, DISEÑO DE MEZCLA Y
ANALISIS DE RESULTADOS.**

Imagen 3.1. Ensayo de partículas en calibradores	105
Imagen 3.2. Calibrador de espesores.	106
Imagen 3.3. Calibrador de longitud.	106
Imagen 3.4. inspección visual de partículas.....	108
Imagen 3. 5. colocación de partículas según características	108
Imagen 3.6. Fractura de partículas (bordes afilados, superficies rugosas).....	108
Imagen 3.7. Secado de la superficie del agregado para obtener la condición sss	110
Imagen 3.8. Secado de material en horno	110
Imagen 3.9. Retiro de asfalto de la superficie del agua	111
Imagen 3.10. Observación visual de la superficie del agregado	111
Imagen 3.11. Vertido de agregado en probeta	114
Imagen 3.12. sedimentación de agregado fino.....	114
Imagen 3.13. Prueba de adhesividad.....	115
Imagen 3.14. Molino coloidal	120
Imagen 3.15. Corte de molino coloidal.....	120
Imagen 3.16. Penetrómetro	123
Imagen 3.17. Estabilización de muestra.....	123
Imagen 3.18. Ensayo de anillo bola	124
Imagen 3.19. Caída de bolas en punto de ablandamiento	124
Imagen 3.20. Aplicación de Torsión a la muestra de asfalto modificado.	126
Imagen 3.21. Cilindros de prueba.	126
Imagen 3.22. Martillo Marshall de compactación	133
Imagen 3.23. Peso saturado superficialmente seca del espécimen	137
Imagen 3.24. Aforo de picnómetro	139
Imagen 3.25. Mezcla asfáltica suelta	139
Imagen 3.26. Remoción de aire en mezcla asfáltica	140
Imagen 3.27. Peso del picnómetro + agua (25°C) + muestra (25°C)	140

Imagen 3.28. Baño maría a 60°C (140°F).....	142
Imagen 3.29. Aparato Marshall - medidor de estabilidad y fluencia.....	142
Imagen 3.30. Briquetas después de ensayo estabilidad y fluencia.....	143
Imagen 3.31. Registro de dimensiones de briquetas.....	143
Imagen 3.32. Briquetas antes del ensayo.....	156
Imagen 3.33. Briquetas después del ensayo.....	156
Imagen 3.34. Tambor de Máquina de los ángeles.....	156
Imagen 3.35. Subgrupos con vacíos de aproximadamente 7%.....	158
Imagen 3.36. Subgrupo con Saturación a vacío parcial: 5min a una presión de 20 in de Hg, en agua destilada a 25°C.....	158
Imagen 3.37. Aparato de carga diametral a 50 mm / min (2 pulgadas / min).....	158
Imagen 3.38. Subgrupos con Acondicionamiento en condición húmeda: Baño María a 60°C (140°F) por 24 hrs.....	158

CAPITULO IV. CONSTRUCCIÓN, COLOCACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA CARPETA ASFÁLTICA DELGADA

Imagen 4.1. Esquema general de una planta central de fabricación de Mezcla.....	167
Imagen 4.2. transporte con su respectiva cubierta.....	168
Imagen 4.3. Extensión de micropavimento en caliente con maquina pavimentadora ...	170
Imagen 4.4. Rodillo metálico auto propulsado.....	171
Imagen 4.5. Verificación de cotas previstas.....	178
Imagen 4.6. Apertura al tráfico.....	182

LISTA DE TABLAS

Tabla	N° de Pág.
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	
Tabla 2.1. Clasificación de las características superficiales de un pavimentos	40
Tabla 2.2. Resumen de clasificación de mezclas asfálticas	59
Tabla 2.3. Rangos de clasificación del PCI.	65
Tabla 2.4. Observaciones del Comportamiento de Tratamientos en Mantenimiento Preventivo	76
Tabla 2.5. Ajuste del grado de cemento asfáltico (PG) con base en volumen y velocidad de tráfico.....	95
Tabla 2.6. Criterios de selección de grado de asfalto según Instituto del Asfalto	96
Tabla 2.7. Criterio de selección del cemento asfáltico basado en el Índice de Temperatura del Pavimento	97
CAPITULO III. PRUEBAS DE LABORATORIO, DISEÑO DE MEZCLA Y ANALISIS DE RESULTADOS.	
Tabla 3.1. Resumen de características del agregado grueso	101
Tabla 3.2. Granulometría de grava triturada 3/8”	102
Tabla 3.3. Las calificaciones de las muestras	104
Tabla 3.4. Resumen de características del agregado fino	112
Tabla 3.5. Granulometría de arena triturada	112
Tabla 3.6. Índice de Riedel-Weber	116
Tabla 3.7. Resumen de características del ligante asfáltico.....	118
Tabla 3.8. Cuadro comparativo de ensayos con distintas modificaciones de asfalto AC-20.....	119
Tabla 3.9. Huso granulométrico para Micropavimento en Caliente	128
Tabla 3.10. Combinación Teórica de materiales.....	130
Tabla 3.11. Criterios para el diseño Marshall	134
Tabla 3.12. Gravedad Específica Bulk (Gsb) de briquetas de diseño Marshall.....	136

Tabla 3.13. Resultados de Gravedad específica teórica máxima para cada espécimen .	140
Tabla 3.14. Factores de correlación de la estabilidad Marshall	144
Tabla 3.15. Valores de estabilidad y fluencia obtenidos en el laboratorio.	145
Tabla 3.16. Resultados obtenidos de porcentajes de vacíos para cada contenido de asfalto	146
Tabla 3.17. Requisitos de VMA.....	147
Tabla 3.18. Resultados de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	148
Tabla 3.19. Resultados de Vacíos llenos de asfalto (VFA)	149
Tabla 3.20. Resumen de Resultados Marshall	153
Tabla 3.21. Resultados de ensayo cántabro de pérdida de desgaste	155
Tabla 3.22. Resultados de ensayo cántabro envejecido de pérdida de desgaste	157
Tabla 3.23. Resultados de laboratorio de porcentaje de vacíos de briquetas compactadas con distintos números de golpes.	159
Tabla 3.24. Resultados y requisitos para el ligante asfáltico	162
Tabla 3.25. Resultados y requisitos para el Agregado grueso	162
Tabla 3.26. Resultados y requisitos para el Agregado fino.....	162
Tabla 3.27. Resultados y requisitos para micropavimento en caliente	163

LISTA DE GRÁFICOS

Gráficos	Nº de Pág.
CAPITULO III. PRUEBAS DE LABORATORIO, DISEÑO DE MEZCLA Y	
ANALISIS DE RESULTADOS.	
Gráfica 3.1. Carta de viscosidad del asfalto AC-20 modificado con SBS y WAX	121
Gráfica 3.2. Combinación Teórica de materiales.....	130
Gráfica 3.3. Estabilidad vs Contenido de asfalto	150
Gráfica 3.4. Fluencia vs Contenido de asfalto	150
Gráfica 3.5. Gravedad Específica Bulk vs Contenido de asfalto	151
Gráfica 3.6. Gravedad Específica Teórica Máxima vs Contenido de asfalto	151
Gráfica 3.7. % Vacíos vs Contenido de asfalto.....	152
Gráfica 3.8. Vacíos en el agregado mineral vs Contenido de asfalto	152
Gráfica 3.9. Vacíos llenos de asfalto vs Contenido de asfalto	153
Gráfica 3.10. Gravedad específica Bulk vs numero de golpes	160
Gráfica 3.11. Porcentaje de Vacíos vs numero de golpes	160

LISTA DE ANEXOS

Anexos	N° de Pág.
ANEXO 1. Especificaciones Técnicas Proporcionadas por ASFALCA	204
ANEXO 2. Ensayo de partículas planas y alargadas ASTM D- 4791	206
ANEXO 3. Ensayo de partículas de caras fracturadas ASTM D-5821.....	208
ANEXO 4. Ensayo granulométrico de agregado grueso ASSHTO T 27-93 Y ASTM C 136-84A	209
ANEXO 5. Ensayo de resistencia a la abrasión e impacto en la maquina de los ángeles ASTM C 535	210
ANEXO 6. Método estándar para sanidad de los agregados por el uso de sulfato de sodio ASTM C 88 Y AASHTO T-104	211
ANEXO 7. Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso ASTM C 127-01	212
ANEXO 8. Ensayo de adherencia astm d 3625	213
ANEXO 9. Ensayo granulométrico de agregado fino ASSHTO T 27-93 Y ASTM C 136-84A.....	214
ANEXO 10. Equivalente de arena ASTM D-2419	215
ANEXO 11. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino ASTM C 128-88	217
ANEXO 12. Ensayo de Adhesividad Riedel Weber NLT 355/93	219
ANEXO 13. Combinación teórica de materiales	220
ANEXO 14. Combinación practica de materiales ASSHTO T 27-93 Y ASTM C 136-84A.....	221
ANEXO 15. Reología del asfalto ASTM D 2196.....	222
ANEXO 16. Propiedades generales del pavimento asfaltico modificado.....	223
ANEXO 17. Determinacion del efecto de la humedad sobre el concreto asfaltico de mezclas para pavimentos (ASTM D-4867, AASHTO T-283).....	225

ANEXO 18. Determinacion del efecto de la humedad sobre el concreto asfaltico de mezclas para pavimentos (ASTM D-4867, AASHTO T-283).....	227
ANEXO 19. Analisis de mezcla asfaltica por el metodo Marshall ASTM 1559.....	228
ANEXO 20. Presupuesto de mezcla asfaltica.....	229

INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Grado describe el desarrollo de la investigación “Aplicación de Microaglomerados en Caliente, como solución al desgaste acelerado de pavimentos asfálticos (carpetas asfálticas delgadas)”.

Dicho documento es presentado a la Universidad de El Salvador en la Facultad Multidisciplinaria de Occidente, con la ayuda proporcionada por ASFALCA, institución que ha proporcionado equipo, material y asesoría técnica necesaria para la ejecución del diseño mencionado, con el que se pretende desarrollar una nueva tecnología de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en El Salvador.

En el CAPITULO I, contempla una reseña histórica de cómo ha evolucionado los microaglomerados en caliente de granulometría continua en países extranjeros; también información general de la institución cooperante ASFALCA, la cual nos brinda su asesoría técnica, así como las instalaciones del Laboratorio de Control de Calidad: Emulsiones, Suelos y Mezclas Asfálticas, el cual cuenta con todo el equipo necesario para llevar a cabo este proyecto. Luego se plantea la problemática, así como las justificaciones, objetivos, alcances y limitantes en esta investigación.

En el CAPITULO II, se describen conceptos básicos que se deben de conocer para la comprensión de este tema; para tener una mayor idea de las mezclas asfálticas en caliente se nombran sus tipos y clasificación, describiendo las características esenciales para el diseño, así como de los aditivos empleados en el asfalto para poder lograr características necesarias para este tipo de mezcla; también se presenta los tipos de deterioros que pueden ocurrir en los pavimentos asfálticos, así como algunas técnicas implementadas para recuperar aquellas características superficiales deseables.

En el CAPITULO III, se describen las pruebas para verificar la calidad de los materiales utilizados en el diseño, determinando con ello el cumplimiento de las especificaciones proporcionadas por la empresa cooperante ASFALCA, así como las pruebas correspondientes al diseño de la mezcla asfáltica en caliente con el fin de reducir el

desgaste acelerado de la carpeta asfáltica y brindarle protección al pavimento asfáltico existente ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

En el CAPITULO IV, se detalla la construcción en la planta asfáltica de la mezcla, el proceso de la colocación de esta carpeta; describiendo el equipo necesario, las características que deben cumplir para obtener las cualidades de esta mezcla; la ejecución y mantenimiento de una carpeta asfáltica delgada en caliente.

En el CAPITULO V, por último se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones de mayor importancia en referente a los resultados de esta investigación.

CAPITULO I.

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El Asfalto es un producto que se ha utilizado en la construcción de caminos desde la antigüedad. Fue empleado en muchas formas en Mesopotamia, Siria y Egipto, que lo encontraron en lagunas de afloración natural, cuyas fracciones más ligeras naturalmente se evaporaron. El residuo pesado remanente era muy impuro; contenía agua, tierra y otras impurezas. Sin embargo, con procedimientos rudimentarios de destilación, pudieron obtener combustibles para lámparas y productos bituminosos para “Mastic”, impermeabilización y pavimentación. El Asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos que existen en disolución. El petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones y así recuperar el Asfalto.

1.1.1. Microaglomerados continuos

La técnica de los Microaglomerados ha evolucionado a lo largo de los últimos años, de manera notable, para mejorar los aspectos negativos, especialmente la deficiente rugosidad ante tráficos rápidos y las bajas características mecánicas. Por lo que respecta a la macrorrugosidad, dos líneas de solución han sido llevadas a cabo: la modificación del esqueleto mineral por un lado y la incrustación de gravillas por el otro.

En lo que se refiere al primer punto, se han sustituido las arenas naturales por arenas de machaqueo de buen coeficiente de pulido acelerado, aumentando el tamaño máximo del Agregado con el objetivo de conseguir al menos un 15% de Agregado superior a 6 - 8 mm.¹

De esta manera, nacen los Microaglomerados en caliente de granulometría continua. Éstos se caracterizan por tener una textura más rugosa que los anteriores morteros, una superior estabilidad mecánica, una buena impermeabilidad y un bajo nivel sonoro, estando igualmente adaptados para el reperfilado transversal. Sus características

¹ Lorenzo, J. (2002). *estudio de la tenacidad de los microaglomerados reciclados en caliente mediante el ensayo btd. efecto del tipo y contenido de betún.*

mecánicas pueden mejorarse sustituyendo los betunes tradicionales utilizados por betunes modificados o incorporando fibras al esqueleto mineral.

Exponente de este tipo de mezclas son los Microaglomerados en caliente continuos tipo V-a del Instituto del Asfalto y los denominados D-8 del PG-3/75; ejemplo clásico de un Microaglomerado denso utilizado en capa de rodadura en espesores no superiores a los 3 cm (Imagen. 1.1.).²

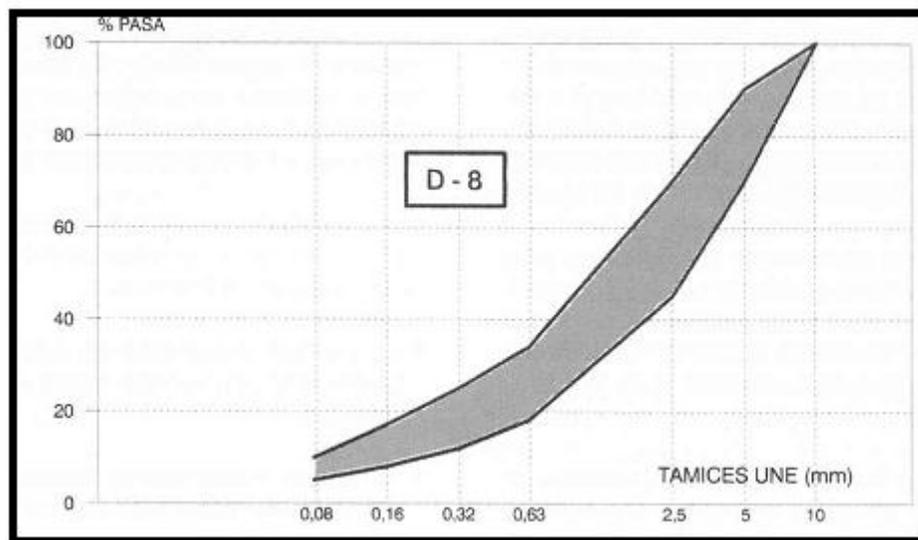


Imagen 1.1. Huso granulométrico del D-8

Fuente: Carreteras, 1997

La otra línea para mejorar la macrotextura y en consecuencia la resistencia al deslizamiento de los antiguos morteros ha sido la seguida por los ingleses con sus conocidos y tradicionales “Fine Cold Asphalt”, en donde se incrustan Agregados gruesos preenvueltos en el mortero constituido por finos y betún.

Se obtienen de esta manera mezclas densas con contenidos en ligante elevados (alrededor del 7 – 8%), betunes de penetración y en donde inmediatamente después del

² Lorenzo, J. (2002). estudio de la tenacidad de los microaglomerados reciclados en caliente mediante el ensayo btd. efecto del tipo y contenido de betún.

extendido y previamente a su compactación se extienden gravillas de granulometría lacadas con betún a razón de unos 7 - 13 kg/m².³

Las mezclas asfálticas de bajo espesor no son desconocidas en el país, la empresa ASFALCA ha implementado los microaglomerados, siendo estos microaglomerados en frío, en un tramo de carretera ubicado entre Lourdes y Ateos en el año de 2009.

1.1.2. Entidad cooperante en la investigación

ASFALCA es una empresa salvadoreña que nació en 1978 a través de la visión de un grupo de empresarios con el objeto de cubrir las necesidades de los constructores que usaban productos asfálticos en El Salvador.

ASFALCA es la pionera en el desarrollo y uso de las emulsiones asfálticas en El Salvador; su propósito es impulsar en el país, técnicas que disminuyan la contaminación al medio ambiente, contrario a los métodos tradicionalmente usados.

LABORATORIO

El Laboratorio de Control de Calidad: Emulsiones, Suelos y Mezclas Asfálticas, abre sus puertas en el año 1994 ofreciendo servicios de ingeniería y control de calidad de mezclas asfálticas, asfaltos, emulsiones asfálticas y ensayos varios sobre suelos y agregados, con el objeto de brindar soporte técnico y de supervisión de la calidad del proceso de producción de la **Planta de Emulsiones Asfálticas y Asfaltos Modificados, en “Asfaltos de Centroamérica S.A. de C.V”.**

El laboratorio de ASFALCA se encuentra ubicado en Km 39 Carretera a Sonsonate, Cantón 3 Ceibas, Armenia, Sonsonate.

Cuenta con la tecnología (ver Imagen 2), la infraestructura y el personal adecuado para abordar cualquier tipo de proyecto de diseño y revisión de mezcla asfáltica en caliente, diseño y revisión de mezcla asfáltica en frío, control de calidad de emulsiones asfálticas

³ Lorenzo, J. (2002). *estudio de la tenacidad de los microaglomerados reciclados en caliente mediante el ensayo btd. efecto del tipo y contenido de betún.*

y asfaltos modificados, así como servicios de ejecución de ensayos de laboratorio en el área de suelos y agregados pétreos, con seriedad, tenacidad y de una manera rápida, coordinada y eficaz.

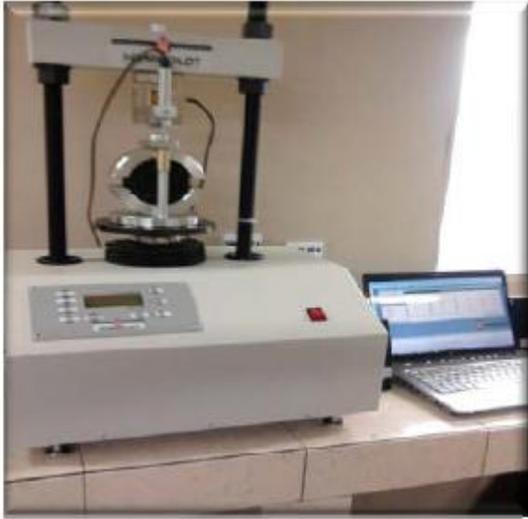


Imagen 1.2. Equipo Técnico

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mal estado de las carreteras en nuestro país es debido a un gran número de factores siendo uno de estos el rápido deterioro de la superficie, ocasionando una disminución en la capacidad de desarrollo económico de las comunidades; a su vez ocasionando congestión debido al mantenimiento frecuente.

Los problemas más comunes encontrados en los pavimentos asfálticos, es el desgaste acelerado (ver Imagen 1.3.), la infiltración de agua en las capas inferiores, fisuramiento de las capas superiores, todos estos problemas contribuyen al deterioro de los vehículos. Estos problemas se deben al diseño de mezclas, el cual no ha tomado en cuenta de una manera fundamental e importante, el volumen de tráfico, el uso de agregados suaves (p.

ej. calizas) susceptibles al pulimiento y las características superficiales de la calzada, siendo esta la responsable de la comodidad, seguridad y coste para el usuario.



Imagen 1.3. Desgaste de Pavimento flexible.

Otro problema en la construcción de carreteras en general, tanto para pavimentos rígidos que utilizan concreto hidráulico, como para pavimentos asfálticos convencionales, en ambas se utiliza una gran cantidad de materiales pétreos obtenidos de la trituración de roca, para la conformación de una carpeta asfáltica.

No se puede evitar el uso de materiales pétreos en la construcción de carreteras; debido al desarrollo económico de la nación, seguiremos modificando el paisaje con la explotación de las canteras (ver Imagen 1.4.), sin embargo, podemos minimizar el consumo de estos materiales, haciendo más lenta la degradación del ambiente, empleando nuevas tecnologías de construcción en carreteras como lo es la aplicación de Micro aglomerados en Caliente, el cual reduce la carpeta asfáltica a una muy delgada, que disminuiría la creciente explotación de los bancos de materiales.

Hoy en día se desarrollan nuevas tecnologías en lo referente a los pavimentos que sean amigables con el ambiente.



Imagen 1.4. Degradación de ambiental

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. General

- Desarrollar las técnicas y procedimientos, basados en especificaciones nacionales e internacionales, necesarias para llevar a cabo una propuesta de diseño de Mezcla Asfáltica para la “Aplicación de Microaglomerados en Caliente, como solución al desgaste acelerado de pavimentos asfálticos (Pavimento Delgado)”.

1.3.2. Específicos

- Hacer una selección previa de los materiales que pueden ser usados para los “Pavimentos Delgados”, los cuales por inspección deberían de ser: grava, arena, filler, ligante asfáltico y otros.
- Realizar las pruebas necesarias a los agregados, ligante asfáltico y mezcla asfáltica para la fabricación de este tipo de carpeta asfáltica delgada.
- Proporcionar las técnicas para la construcción, colocación y mantenimiento de una carpeta asfáltica delgada, así como los parámetros de diseño para este tipo de mezcla.
- Brindar una alternativa que solucione el desgaste acelerado de pavimentos asfálticos, mediante la aplicación de Microaglomerados en Caliente.

1.4. ALCANCES

- El presente documento tendrá como finalidad dar a conocer los lineamientos en los cuales se basará el diseño y construcción de la mezcla de los Microaglomerados en Caliente, como una posible técnica de mejoramiento vial, ante el continuo desgaste que sufren las carpetas asfálticas.

- Elaboración de un método que describa cada uno de los pasos que se deberán seguir para la colocación y mantenimiento de este tipo de carpeta asfáltica delgada, haciendo cumplir los requerimientos técnicos necesarios.

- Como método de diseño de mezcla asfáltica en caliente ocuparemos el Método Marshall para determinar el contenido óptimo del asfalto, y así lograr un Microaglomerado que proporcione los requerimientos necesarios a las demandas de desgaste, fisuramiento, infiltración, entre otros.

- Este tipo de carpeta asfáltica delgada (Microaglomerado en Caliente) se diseñará para tráfico pesado.

1.5. LIMITACIONES

- La investigación se limita a desarrollar solo el diseño de mezcla asfáltica para Microaglomerado en Caliente y no discute el diseño geométrico de una carretera o el diseño del pavimento.

- En nuestro desarrollo de la investigación nos limitaremos solo a efectuar las pruebas de laboratorio necesarias con los equipos técnicos que cuenta ASFALCA y UES.

- Escaso presupuesto económico del equipo investigador para realizar diversas actividades relacionadas con la investigación del proyecto.

1.6. JUSTIFICACIONES

- El rápido crecimiento de la red de vías de alta velocidad respondiendo a las necesidades crecientes de los usuarios en cuanto a la rapidez y seguridad en los desplazamientos, así como a la expansión del transporte por carretera, hace que esta superficie haya adquirido una importancia fundamental en la función de la calzada, siendo responsable de la comodidad, seguridad y coste del usuario.

- El desgaste acelerado del pavimento asfáltico ha hecho que algunos autores opten por aumentar la capa de rodamiento, o bien aumentar el uso del ligante asfáltico, lo cual conlleva a un encarecimiento del producto; ante esta problemática la técnica de Microaglomerados en Caliente ofrece un menor uso de materiales y su periodo de vida útil es más prolongado.

- La técnica de los Microaglomerados es un procedimiento que va teniendo un mayor auge en la rama de pavimentos asfálticos, ya que no solo reduce el tamaño de la capa de rodamiento, sino que a su vez, disminuye las cantidades de materiales utilizados, sean estos sólidos (grava, arena, filler) y líquidos (asfalto y agua), reduciendo así las inversiones que se tendrían que realizar para estos pavimentos, comparados con los pavimentos convencionales. Por ende, hace que su mantenimiento sea más económico y rápido, lo que conlleva a menores interrupciones en el tráfico.

CAPITULO II.
MARCO TEÓRICO
CONCEPTUAL

2.1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS

2.1.1. Pavimentos

Los pavimentos son estructuras construidas por capas de diversos materiales seleccionados, superpuestas, colocadas y compactadas sobre la superficie del terreno. La estructura de un pavimento está concebida especialmente para la circulación del tráfico automotor, por lo que es una solución económica y eficaz. El desarrollo del automóvil a principios de siglo produjo una rápida evolución de las carreteras a nivel mundial.

En la seguridad vial de una carretera las características superficiales que intervienen son la regularidad superficial y la textura.

El Comité Técnico de Características Superficiales de la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR-PIARC) ha establecido una clasificación de las características superficiales de un pavimento en función de las longitudes de onda y las amplitudes de las irregularidades superficiales existentes, detalladas en el Tabla 2.1.⁴

Tabla 2.1. Clasificación de las características superficiales de un pavimentos

Tipo de textura y Tipo de Irregularidad		Rango de medida	
		Longitud de onda	Amplitud
MICROTEXTURA		0.0 - 0.5mm	0.0 - 0.2mm
MACROTEXTURA		0.5 - 50mm	0.2 - 10mm
MEGATEXTURA		50 - 500mm	10 – 50mm
REGULARIDAD SUPERFICIAL	Ondas cortas	0.5 - 5.0m	1 - 2mm
	Ondas medias	5.0 - 15m	5 - 50mm
	Ondas largas	15 - 50m	10 - 200mm

Fuente: AIPCR

⁴ ASOPAC (2004). Cartilla del Pavimento Asfáltico. Bogotá, Colombia.

La microtextura y la macrotextura, intervienen en la seguridad vial evitando accidentes por pérdida del control del vehículo por deslizamiento.

La megatextura y las ondas cortas, intervienen fundamentalmente en crear una sensación de incomodidad al usuario, que puede producir un accidente al perder el conductor la debida concentración para conseguir la correcta conducción del vehículo.

Las ondas medias y largas, producen un movimiento ondulante del vehículo al desplazarse por la carretera que, a ciertas velocidades podría llegar a producir un cierto despegue de las ruedas con el pavimento, con el consiguiente riesgo de accidente.

2.1.1.1. Clases de pavimentos

Hay tres clases de pavimentos, dependiendo del material de construcción y de la forma como reciben y controlan las cargas de los vehículos:

- **Flexibles:** Son los contruidos con capas de mezcla asfáltica. La superficie se apoya sobre una o más capas que ayudan a soportar las cargas. Proporcionan una superficie de rodadura muy confortable para el usuario de la vía.
- **Articulados:** Contruidos con adoquines (bloques de concreto o arcilla prefabricados), que se colocan sobre una capa de arena. Esta, se apoya sobre una capa granular o directamente sobre la subrasante.
- **Rígidos:** Se componen de losas de concreto hidráulico colocadas sobre una o varias capas de material seleccionado. La capacidad estructural depende casi totalmente de la losa.⁵

2.1.1.2. Funciones del pavimento flexible

La superficie o capa de rodadura es la única parte visible de un camino. Bajo esta superficie, existe una estructura constituida por varias capas de distintos materiales, que en ciertos casos puede alcanzar profundidades mayores a 1,0 metro. La estructura de

⁵ ASOPAC (2004). Cartilla del Pavimento Asfáltico. Bogota, Colombia.

pavimentos bajo la superficie es la sección de la carretera que realiza el trabajo de soportar las cargas de tránsito. El peso de los vehículos aplicada en la superficie se transfiere o disipa a la “subrasante” (material natural bajo el pavimento) a través de la estructura de pavimento. La subrasante generalmente es una capa débil en términos de capacidad de soporte. Las fuertes cargas de tráfico aplicadas en la superficie del pavimento se van distribuyendo sobre un área más grande en las capas inferiores hasta llegar a la susbrasante, como se ilustra en la Imagen 2.1.⁶

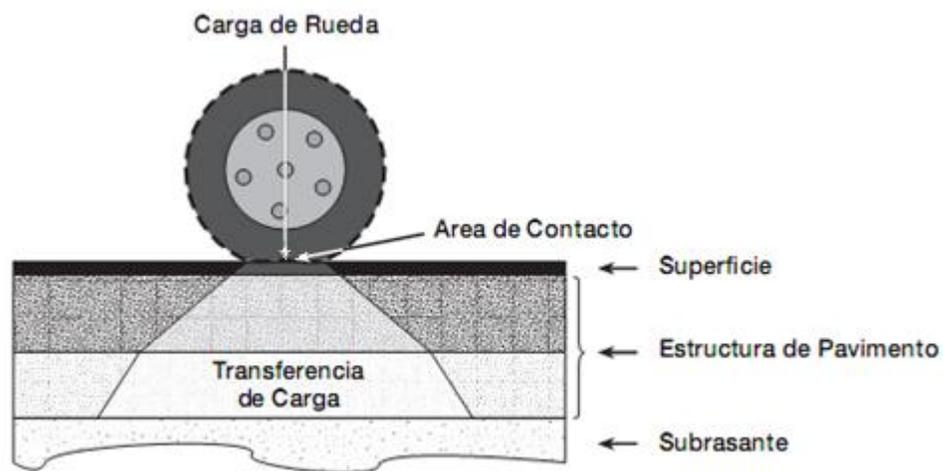


Imagen 2.1. Transferencia de carga a través de la estructura del pavimento

El pavimento flexible o asfáltico cumple con dos funciones específicas:

- Proporciona una superficie segura y de comodidad para el usuario.
- Las capas de la estructura soportan la mayor parte de las cargas de los vehículos y el resto lo trasladan al terreno o subrasante.

Además de estas dos funciones específicas, el pavimento flexible debe cumplir con otras características, que se pueden dividir en técnicas (propias del pavimento) y de seguridad y comodidad para el usuario de la vía, las cuales son:

⁶ Wirtgen(2004), Manual de Reciclado en Frío.

Características técnicas: Son todas aquellas que hacen que los pavimentos sean durables, económicos y resistentes a los fenómenos climáticos y del tránsito.

Características de seguridad y comodidad: Los pavimentos flexibles deben ser drenantes, es decir, evacuar rápidamente el agua lluvia. Deben presentar una homogeneidad en la superficie para que el tránsito sea cómodo. La superficie debe ser capaz de absorber el ruido y tener el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

2.1.1.3. Ventajas del pavimento flexible

- ✓ Proporciona suficiente resistencia a las cargas impuestas por el tráfico vehicular.
- ✓ El costo de construcción es menor que en el pavimento rígido y con las nuevas tecnologías, los pavimentos flexibles requieren un mantenimiento mínimo.
- ✓ Por su color oscuro, evita reflejos y deslumbramientos causantes de accidentes.
- ✓ Es reciclable en un su totalidad, lo que trae importantes ventajas ambientales, ecológicas y económicas.
- ✓ El tiempo de restauración de una vía en concreto hidráulico puede tardar días, en mezcla asfáltica apenas unas pocas horas.
- ✓ La contaminación auditiva por el paso de los vehículos, es nueve decibeles menor si el vehículo rueda sobre una superficie de concreto asfáltico que de hidráulico.⁷
- ✓ Ofrece gran suavidad en el rodamiento, lo que permite ahorrar hasta un 4.5% en el consumo de combustible.

⁷ ASOPAC (2004). Cartilla del Pavimento Asfáltico. Bogota, Colombia.

2.1.1.4. Partes del pavimento flexible

Los pavimentos flexibles se componen de una capa llamada carpeta de rodadura, apoyada sobre dos capas llamadas base y sub-base. Todo el conjunto se apoya sobre el terreno o sub-rasante, como se muestra en la Imagen. 2.2., al cual llega una mínima parte de la carga vehicular.

- Carpeta de rodadura

Proporciona una superficie estable, uniforme y antideslizante, todo lo cual se traduce en comodidad y seguridad para el usuario de la vía. Soporta la mayor parte de las cargas vehiculares y efectos ambientales como la lluvia y la radiación solar. Sirve como capa impermeabilizante, impidiendo el paso de agua al interior del pavimento, y al mismo tiempo la drena evitando el deslizamiento de los vehículos.

- Base

Su función principal es resistir los esfuerzos inducidos por los vehículos y dar un soporte homogéneo a la carpeta de rodadura, transmitiendo a las capas inferiores que las soportan (sub-base y sub-rasante) una mínima porción de la carga. Es una capa semirígida, que puede ser granular, granular estabilizada o asfáltica.

- Sub base granular

Se construye con materiales más económicos que las dos anteriores para que, a su turno, los espesores de las dos capas anteriores sean menores. También, sirve de capa de transición de transferencia de carga a la subrasante.

- Terreno natural o subrasante

La subrasante es aquella que soporta el pavimento. Las técnicas de mejoramiento o estabilización del suelo buscan mejorar las características del terreno, pues de éstas, depender en gran medida, el espesor total del pavimento.⁸ Un suelo se puede mejorar o

⁸ ASOPAC (2004). Cartilla del Pavimento Asfáltico. Bogota, Colombia.

estabilizar por medios mecánicos (compactación) o con productos químicos especialmente diseñados para tal fin (cal, cemento, etc.).

<i>Posición relativa en la estructura</i>		<i>Material de construcción</i>
	Superficie	Asfalto o sello asfáltico
	Base	Mezcla asfáltica/granular estabilizado con asfalto o cemento/granular
	Subbase	Granular estabilizado con asfalto o cemento/granular
	Subrasante	Granular estabilizado con cemento/granular/material in-situ

Imagen 2.2. Estructura típica de pavimento flexible.

2.1.2. Agregado Pétreo

Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica.

El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

2.1.2.1. Clasificación del agregado Pétreo

Los agregados pueden ser naturales o procesados. De acuerdo con su tamaño, se dividen en gravas, arenas y relleno mineral (llenante mineral o filler). Los materiales pueden ser producidos en canteras abiertas o tomados de la ribera de los ríos (cantera de río). En

este último caso se denominan agregados pétreos aluviales. Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. La roca se tritura para volver angular la forma de la partícula y para mejorar la distribución (gradación) de los tamaños de las partículas.

2.1.2.2. Propiedades del agregado pétreo

Los agregados pétreos deben cumplir las siguientes propiedades para ser considerado apropiado para una mezcla asfáltica:

- Graduación y tamaño máximo de partícula

Se requiere que las partículas estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño esté presente en ciertas proporciones.

- Limpieza

En los agregados existen materiales indeseables que afectan las propiedades y el comportamiento del pavimento. Dentro de estos se tienen vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, materia orgánica, etc.

- Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla y las exigencias durante la vida de servicio del pavimento.

- Forma de la partícula

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla, la cantidad de fuerza necesaria para compactarla y la resistencia de la estructura del pavimento. Las partículas irregulares y angulares proporcionan las mejores características mecánicas.⁹

⁹ ASOPAC (2004). Cartilla del Pavimento Asfáltico. Bogotá, Colombia.

- Textura de la superficie

Es un factor que determina la trabajabilidad, la resistencia final de la mezcla y las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Según la textura, los agregados pueden ser rugosos o lisos.

- Capacidad de absorción

La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto es un elemento importante de información, pues un agregado poroso requiere cantidades mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.

- Afinidad con el cemento asfáltico

Es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto.

2.1.3. Cemento Asfáltico

El asfalto es un material que se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo. Posee unas características muy específicas que lo hacen ideal para los trabajos de pavimentación, principalmente la cohesión y la adhesión con materiales granulares. Tiene una consistencia sólida, al calentarlo se ablanda y se vuelve líquido, lo que le permite recubrir los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente.¹⁰

El asfalto cambia su comportamiento dependiendo de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. Es más duro a bajas temperaturas y más blando a altas, por esto, se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima del sitio de colocación.

¹⁰ ASOPAC (2004). Cartilla del Pavimento Asfáltico. Bogotá, Colombia.

2.1.3.1. Composición química

El asfalto está compuesto por asfaltenos, resinas, aromáticos y saturados. Los asfaltenos proporcionan la dureza del asfalto, las resinas son los que aglutinan los asfaltenos, brindando la capacidad de liga. Los aromáticos y saturados son aceites, que le dan la consistencia para que sean trabajables (ver Imagen 2.3.).

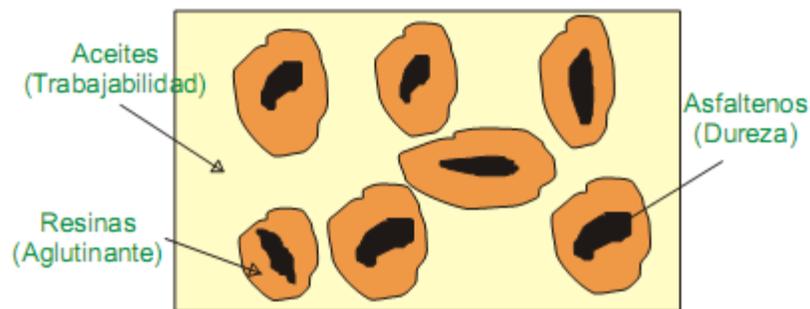


Imagen 2.3. Composición química del asfalto.

2.1.3.2. Clasificación del asfalto

Los asfaltos se agrupan en tres clases, principalmente:

- Cementos asfálticos (AC)

Son los más utilizados en pavimentación. Se pueden sub-clasificar bajo tres sistemas diferentes: viscosidad antes y después de envejecimiento y penetración. Se preparan comercialmente en grados o rangos de consistencia, con base en el ensayo de penetración, por ejemplo: AC 70-90, AC-60-80, AC 80-100. Los números indican la penetración en décimas de milímetro. El ensayo de penetración es uno de los ensayos de clasificación más comunes en la caracterización del asfalto.¹¹

¹¹ ASOPAC (2004). Cartilla del Pavimento Asfáltico. Bogotá, Colombia.

- Asfaltos líquidos

Se producen diluyendo cemento asfáltico en algún solvente del petróleo. Se agrupan en 3 clases, dependiendo de la rapidez con que se produce la evaporación del solvente (curado del asfalto).

SC: asfaltos rebajados de curado lento

MC: asfaltos rebajados de curado medio

RC: asfaltos rebajados de curado rápido

Esta denominación se suele acompañar de un número que indica el grado de viscosidad cinemática (en centiestokes). Por ejemplo: RC-250, MC-70.

- Emulsiones asfálticas

Se componen de dos elementos: agua y cemento asfáltico. Se utilizan en tratamientos superficiales, riegos de adherencia, mezclas abiertas, estabilización de suelos y lechadas asfálticas. Dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos de asfalto, pueden ser catiónicas (C, carga +) o aniónicas (A, carga -). Dependiendo de la velocidad del rompimiento de la emulsión, se clasifican en rompimiento rápido (RR), medio (RM) o lento (RL).¹²

2.2. ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

Para llevar a cabo la modificación de asfalto, se debe conocer la compatibilidad de este con el modificador para que coexistan como sistema, es decir debe ser miscible, lo que indica una mezcla monofásica. Un polímero es compatible con el asfalto cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar por un examen visual (ver Imagen 2.4.).

¹² ASOPAC (2004). Cartilla del Pavimento Asfáltico. Bogotá, Colombia.

Los asfaltos más ricos en fracciones aromáticas y resinas serán los más compatibles, ya que estas fracciones son las que permiten que el polímero se disuelva. Los asfaltos menos compatibles son los más ricos en asfaltenos y saturados.

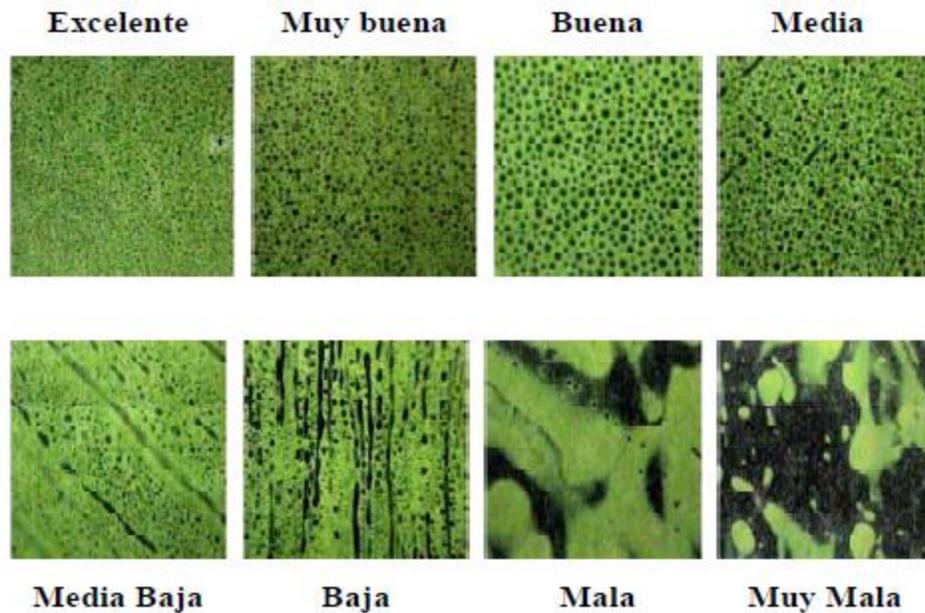


Imagen 2.4. Compatibilidad asfalto- polímero

Fuente: Conferencia: Introducción a la Química del Asfalto por: Ing. German Garzón, Costa Rica, 2004

El comportamiento del asfalto depende básicamente de tres factores:

- Temperatura
- Tiempo de carga
- Envejecimiento

A altas temperaturas y bajo cargas sostenidas, el asfalto se comporta como un líquido viscoso, es una mezcla plástica la cual provoca ahuellamiento.¹³

¹³ Avellán Cruz, Martha Dina (2007). Asfaltos Modificados con Polímeros (Tesis de Ingeniería Civil, Univ. Sn. Carlos, Guatemala)

A bajas temperaturas y bajo cargas rápidas se vuelve frágil, ocasionando grietas transversales y agrietamiento térmico. (Ver Imagen 2.5.).

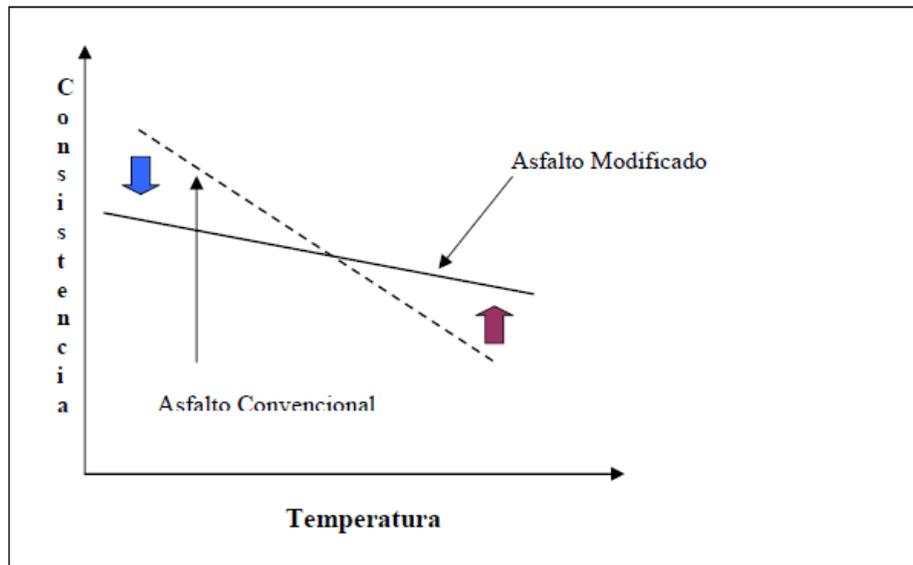


Imagen 2.5. Comportamiento asfalto convencional vrs. Asfalto modificado

Fuente: Introducción a la Reología de los Asfaltos Modificados. Conferencia dictada por: Ing. German Garzon Costa Rica, 2004.

El objetivo perseguido con la adición de polímeros al asfalto es el de mejorar su reología, buscando:

- Disminuir la susceptibilidad térmica. Disminuir la fragilidad en climas fríos y aumentar la cohesión en tiempos de calor.
- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Mejorar la adherencia a los agregados.¹⁴

¹⁴ Avellán Cruz, Martha Dina (2007). Asfaltos Modificados con Polímeros (Tesis de Ingeniería Civil, Univ. Sn. Carlos, Guatemala)

2.2.1. Definición de asfaltos modificados

Los asfaltos modificados son producto de la incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido. Esto se hace con el fin de modificar sus propiedades físicas y reológicas para disminuir su susceptibilidad a la temperatura, humedad y oxidación e incrementar la adherencia con el material pétreo. Aumentar la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y esfuerzos de tensión repetidos¹⁵

2.2.2. Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos

- **Elastómeros:** son polímeros de respuesta elástica (caucho, SBS, SBR, Isopreno).
- **Plastómeros:** rigidizan el asfalto ofreciendo resistencia, como consecuencia no son deformables elásticamente (PVC, EVA).

2.2.2.1. Latex, hule natural, SBS, SBR

Este tipo de polímero es el más utilizado en la modificación del asfalto, el efecto de la adición de estos al asfalto es aumentar su intervalo de plasticidad y disminuir la susceptibilidad térmica. El punto de ablandamiento puede aumentar hasta 20°C, a temperaturas inferiores a 70°C los asfaltos tienen menor penetración, esto es interesante ya que a estas temperaturas se dan deformaciones en las superficies de rodamiento.

Los asfaltos son más duros pero siguen siendo elásticos lo que evita la formación de roderas y el agrietamiento de las mismas. La rigidez de estos asfaltos ayuda a soportar los largos tiempos de carga sin deformaciones.

2.2.2.2. Hule de llanta

Las propiedades que adquiere el asfalto al añadirle este tipo de hule son similares a las que se obtienen con el polímero SBR o SBS aunque, se deben utilizar dosificaciones

15 H. L. Robinson. Polymers in Asphalt. (United States of America, 2004) p. 15

más elevadas. Las llantas para ser utilizadas como agentes modificadores de asfalto requieren de un proceso físico para reducir sus dimensiones, el cual suele ser complejo.

Estos asfaltos modificados presentan altas viscosidades por lo que se requiere el empleo de algún fluidificante, alrededor del 6% de queroseno. Son usados principalmente en riegos de sello destinados a absorber las grietas debidas a contracciones y dilataciones, estos riegos son llamados SAM (membranas de absorción de tensiones).¹⁶

2.2.3. Asfaltos modificados con polímeros tipo elastómeros

Se requiere mezclar tres componentes: asfalto, resina base y un endurecedor, lo que complica la modificación ya que debe existir compatibilidad entre estos.

Los asfaltos modificados tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión a los agregados. Si el trabajo con este tipo de asfalto es realizado dentro de los parámetros correctos, su tiempo de vida está condicionado por la vida del agregado, no por el asfalto; en otras palabras el pavimento se deteriora por trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante (asfalto). Su resistencia al envejecimiento es excelente.

Son empleados para casos específicos como:

- Zonas de frenado intenso, donde se requiere una gran resistencia al derrapaje.
- Zonas donde se requiere resistir a las maniobras o a los agentes químicos.
- Zonas donde se requiere mantener una buena rugosidad durante largos periodos de tiempo.

¹⁶ Avellán Cruz, Martha Dina (2007). Asfaltos Modificados con Polímeros (Tesis de Ingeniería Civil, Univ. Sn. Carlos, Guatemala)

2.2.4. Parafinas (WAX) utilizadas en la modificación de asfaltos

Las parafinas son hidrocarburos saturados procedentes de la destilación a vacío del petróleo y de las posteriores etapas de refinación a que son sometidas las fracciones o cortes para obtener los aceites lubricantes (Sánchez Caba, 2003).

Parafinas Macrocristalinas (“paraffin wax”): Su estructura química está compuesta por cadenas principalmente lineales, denominadas normal parafinas, con ligeras proporciones de cadenas ramificadas (isoparafinas). Están constituidas por moléculas de 20-40 átomos de carbono (Sánchez Caba, 2003).

Una aplicación del aditivo WAX es que modifican la viscosidad del betún. Este grupo de aditivos modifica la reología del betún; de tal modo que a altas temperaturas (> 100 °C) la viscosidad del ligante resultante disminuye sensiblemente, permitiendo por lo tanto, una reducción de la temperatura de fabricación del aglomerado. (Gil Redondo, González León, & Sánchez Alonso, 2010)

2.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.3.1. Definición de Mezcla Asfáltica.

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004).

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.¹⁷

¹⁷ Padilla Rodríguez, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.*

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

2.3.2. Propiedades de las mezclas asfálticas

Las principales características exigibles a una mezcla bituminosa son las que a continuación se enumeran:

Estabilidad: Es la primera característica que debe tenerse en cuenta en toda mezcla, ya que ésta debe de ser capaz de soportar cargas y de resistir las tensiones sin producir unas deformaciones excesivas. Es la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el tránsito. La carpeta asfáltica debe de ser capaz de mantener su forma y textura ante las secuencias de carga que a diario le son impuestas.

Durabilidad: La exposición del firme a los distintos agentes meteorológicos –radiación solar, agua, aire, procesos químicos- así como a las propias cargas de tráfico acaban por causar daños en su textura y estructura. Es lo que se conoce como **envejecimiento** del firme, y acarrea la aparición de deterioros de mayor o menor gravedad en los cuales se pueden mencionar: desintegración del agregado, cambio de propiedades del asfalto (polimerización, oxidación), segregación, etc.

Flexibilidad: es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente, sin sufrir agrietamientos, soportando los movimientos graduales y asentamientos de la base y sub-base. Los asentamientos del pavimento puede ocurrir debido a que falle cualquiera de sus componentes. Provocando daños visibles en la carpeta de rodadura.

Resistencia a la fatiga: es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir la flexión repetida causada por la carga del tránsito. Si el porcentaje de vacíos en la mezcla

asfáltica aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. El envejecimiento y endurecimiento del asfalto en la carpeta de rodadura da como resultado menor resistencia a la fatiga.

Resistencia al deslizamiento: es la habilidad de una carpeta asfáltica, particularmente cuando esta mojada, de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos. Esto implica que el neumático debe mantenerse en contacto con las partículas del agregado y no sobre una película de agua en la superficie del pavimento, conocido como hidropelaje. Una buena resistencia al deslizamiento lo contribuyen los agregados con textura áspera y contenidos de asfalto adecuados.

Impermeabilidad: es la resistencia de una carpeta asfáltica al paso del aire y agua hacia su interior o a través de él. El contenido de vacíos puede ser una indicación a la susceptibilidad de una mezcla compactada al paso del agua y el aire.

Trabajabilidad: es la facilidad con la cual una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada.

2.3.3. Clasificación de las Mezclas Asfálticas.

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:¹⁸

2.3.3.1. Por fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

¹⁸ Padilla Rodríguez, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.*

2.3.3.2. Por la temperatura de puesta en obra.

- **Mezclas asfálticas en Caliente:** Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.
- **Mezclas asfálticas en Frío:** El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

2.3.3.3. 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.¹⁹

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20%.

2.3.3.4. Por el tamaño máximo del agregado pétreo.

- **Mezclas Gruesas:** Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.

¹⁹ Padilla Rodríguez, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.*

- **Mezclas Finas:** También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

2.3.3.5. Por la estructura del agregado pétreo.

- **Mezclas con Esqueleto mineral:** Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- **Mezclas sin Esqueleto mineral:** No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

2.3.3.6. Por la Granulometría.

- **Mezclas Continuas:** Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- **Mezclas Discontinuas:** Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.²⁰

En resumen la clasificación de las mezclas asfálticas se muestra en el siguiente Tabla 2.2:

²⁰ Padilla Rodríguez, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.*

Tabla 2.2. Resumen de clasificación de mezclas asfálticas

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frío
	En Caliente
Huecos en la mezcla (h)	Cerradas ($h < 6\%$)
	Semicerradas ($6\% < h < 12\%$)
	Abiertas ($h > 12\%$)
	Porosas ($h > 20\%$)
Tamaño máximo del agregado (t máx)	Gruesas (t máx > 10 mm)
	Finas (t máx < 10 mm)
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

2.3.4. Tipología de las Mezclas Asfálticas.

2.3.4.1. Mezcla Asfáltica en Caliente.

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.²¹

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se

²¹ Padilla Rodríguez, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.*

fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos.

2.3.4.2. Mezcla Asfáltica en Frío.

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

2.3.4.3. Mezcla Porosa o Drenante.

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5 % y 5 % de la masa de agregados pétreos, con asfaltos normales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón.²²

²² Padilla Rodríguez, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.*

Utilizadas como mezclas en caliente para tráficos de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4 cm., se consigue que el agua lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración.

2.3.4.4. Microaglomerados.

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm., lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor. Tanto los microaglomerados en Frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) como los microaglomerados en Caliente son por su pequeño espesor (que es inferior a 3 cm.) tratamientos superficiales con una gran variedad de aplicaciones.

Tradicionalmente se han considerado adecuados para las zonas urbanas, porque se evitan problemas con las alturas libres de los gálibos y la altura de los bordillos debido a que se extienden capas de pequeño espesor.

Hay microaglomerados con texturas rugosas hechas con agregados pétreos de gran calidad y asfaltos modificados, para las vías de alta velocidad de circulación.

El empleo de un alto contenido de ligante podría hacer peligrar la estabilidad de la mezcla y provocar la exudación del ligante. Para evitar este problema se ha recurrido al empleo de ligantes modificados por adición de polímeros o a la incorporación de fibras, consiguiendo al mismo tiempo mejorar la cohesión de la mezcla.²³

2.3.4.5. Masillas asfálticas.

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que si hay agregado grueso, se haya disperso en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

²³ Padilla Rodríguez, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.*

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando el ligante con adiciones de fibras. Los asfaltos fundidos de este tipo, son mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en los tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, de los países con climas fríos y húmedos.

2.3.4.6. Mezclas de alto módulo.

Su proceso de elaboración es en caliente, citando específicamente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros. A veces modificados, con contenidos asfálticos próximos al 6 % de la masa de los agregados pétreos, la proporción del polvo mineral también es alta, entre el 8% - 10%. Son mezclas con un elevado módulo de elasticidad, del orden de los 13,000 Mpa. a 20 grados centígrados y una resistencia a la fatiga relativamente elevada.

Se utilizan en capas de espesores de entre 8 y 15 cm., tanto para rehabilitaciones como para la construcción de firmes nuevos con tráficos pesados de intensidad media o alta. Su principal ventaja frente a las bases de concreto hidráulico es la ausencia de agrietamiento debido a la retracción o como las mezclas convencionales en gran espesor la ventaja es una mayor capacidad de absorción de tensiones y en general una mayor resistencia a la fatiga, permitiendo ahorra espesor.²⁴

²⁴ Padilla Rodríguez, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.*

2.4. DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS

2.4.1. Factores que Causan el Deterioro del Pavimento

Los pavimentos se deterioran por un gran número de factores, pero los dos más importantes son los efectos medio ambientales y las cargas de tráfico. El deterioro del pavimento es normalmente medido indirectamente por la calidad de rodado, pero las características visibles como el ahuellamiento y agrietamiento superficial también son relevantes. La Imagen 2.6 muestra como estas 3 características relacionan el paso del tiempo y el efecto acumulativo de las cargas de tráfico. El deterioro gradual de los pavimentos es causado por una combinación de los factores ambientales y de tráfico discutido en los puntos siguientes.²⁵

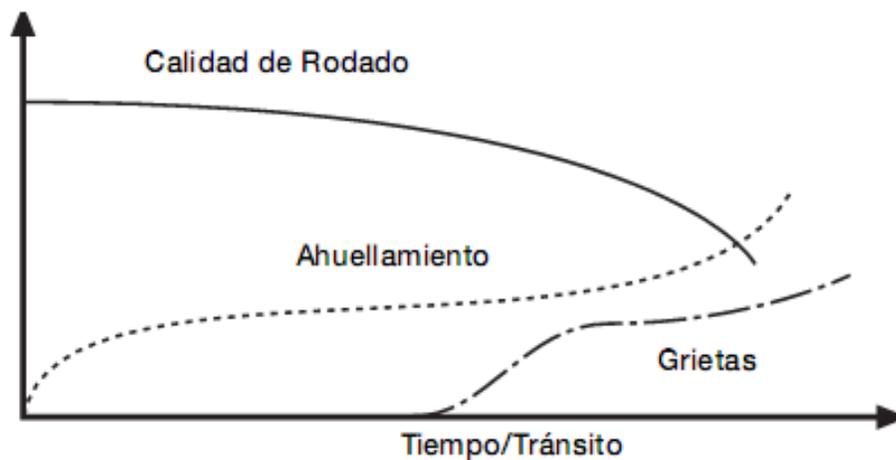


Imagen 2.6. Indicadores de deterioro de pavimento

- Factores ambientales

Los factores medio ambientales son responsables de la mayor parte del inicio del agrietamiento superficial. El principal factor que contribuye a este fenómeno es la

²⁵ Wirtgen(2004), Manual de Reciclado en Frío.

radiación ultravioleta solar, que causa un endurecimiento lento pero continuo del asfalto. Con el endurecimiento, la capa asfáltica reduce su elasticidad, lo que produce el agrietamiento cuando la superficie se contrae al disminuir su temperatura. Una vez que la integridad de la superficie se pierde debido al agrietamiento, el pavimento tiende a deteriorarse a una tasa mayor, producto del ingreso del agua a las capas subyacentes.²⁶

- Efectos del tráfico

La carga de tráfico es la responsable de la aparición del ahuellamiento y de la aparición de grietas dentro de la estructura de pavimento. Todo vehículo que utilice un camino va a producir una pequeña deformación momentánea en la estructura de pavimento. Sin embargo, la deformación producida por un vehículo liviano (automóvil) es insignificante, mientras que los vehículos pesados producen grandes deformaciones. El paso de una gran cantidad de vehículos tiene un efecto acumulativo que gradualmente lleva a una deformación permanente y/o agrietamiento de fatiga en el pavimento. Es importante destacar que los ejes sobrecargados de los camiones pesados producen un efecto extremadamente nocivo en la estructura de pavimento, acelerando el deterioro.

2.4.2. Evaluación de deterioros

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados, ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “*valores deducidos*”, como un factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

²⁶ Wirtgen(2004), Manual de Reciclado en Frío.

2.4.2.1. Índice de Condición de Pavimentos (PCI)

El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema y las cuales se presentan a continuación.

Se presentan la totalidad de los daños incluidos en la formulación original del PCI, pero eventualmente se harán las observaciones de rigor sobre las patologías que no deben ser consideradas debido a su génesis o esencia ajenas a las condiciones locales. El usuario de esta guía estará en capacidad de identificar estos casos con plena comprensión de forma casi inmediata.²⁷

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el Tabla 2.3 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.²⁸

Tabla 2.3. Rangos de clasificación del PCI.

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño que presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la

²⁷ Wirtgen(2004), Manual de Reciclado en Frío.

²⁸ Pavement Conditionindex (PCI) Para Pavimentos Asfálticos de Concreto en Carreteras ING. ESP. V., LUIS. Manizales, Febrero de 2002.

integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

2.4.2.2. Evaluación de la condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del PCI confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

A. Equipo.

1. Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
2. Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
3. Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

B. Procedimiento.

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente.²⁹

Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición”

para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

²⁹ Pavement Conditionindex (PCI) Para Pavimentos Asfálticos de Concreto en Carreteras ING. ESP. V., LUIS. Manizales, Febrero de 2002.

El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

C. Calidad de tránsito

Cuando se realiza la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito (o calidad del viaje) para determinar el nivel de severidad de daños tales como las corrugaciones y el cruce de vía férrea. A continuación se presenta una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito.

L: (Low: Bajo). Se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo pero creando poca incomodidad.

M: (Medium: Medio): Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo, creando incomodidad.

H: (High: Alto): Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo.

La calidad de tránsito se determina recorriendo la sección de pavimento en un automóvil de tamaño estándar a la velocidad establecida por el límite legal. Las secciones de pavimento cercanas a señales de detención deben calificarse a la velocidad de desaceleración normal de aproximación a la señal.

2.4.3. Tipos de deterioros

2.4.3.1. Piel de cocodrilo

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60m.

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.³⁰



Imagen 2.7. Fisura Piel de Cocodrilo.

³⁰ Pavement Conditionindex (PCI) Para Pavimentos Asfálticos de Concreto en Carreteras ING. ESP. V., LUIS. Manizales, Febrero de 2002.

2.4.3.2. Exudación.

La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.³¹

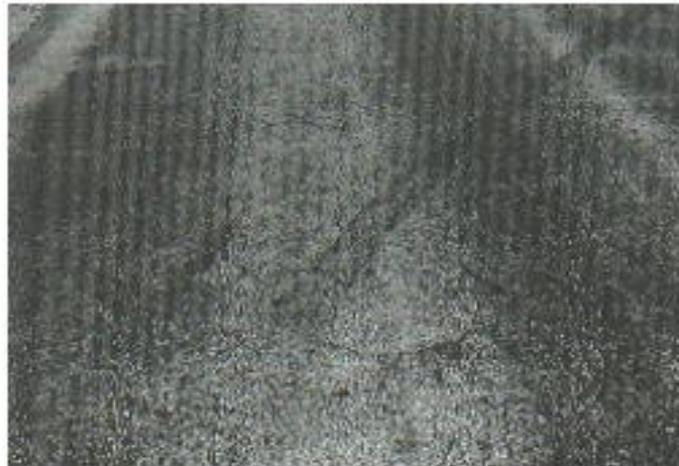


Imagen 2.8. Pavimento en exudación

2.4.3.3. Agrietamiento en bloque.

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la

³¹ Pavement Conditionindex (PCI) Para Pavimentos Asfálticos de Concreto en Carreteras ING. ESP. V., LUIS. Manizales, Febrero de 2002.

contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo y deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito.

Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).³²

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un sólo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.



Imagen 2.9. Grietas en bloque

³² Pavement Conditionindex (PCI) Para Pavimentos Asfálticos de Concreto en Carreteras ING. ESP. V., LUIS. Manizales, Febrero de 2002.

2.4.3.4. Corrugación.

La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.³³

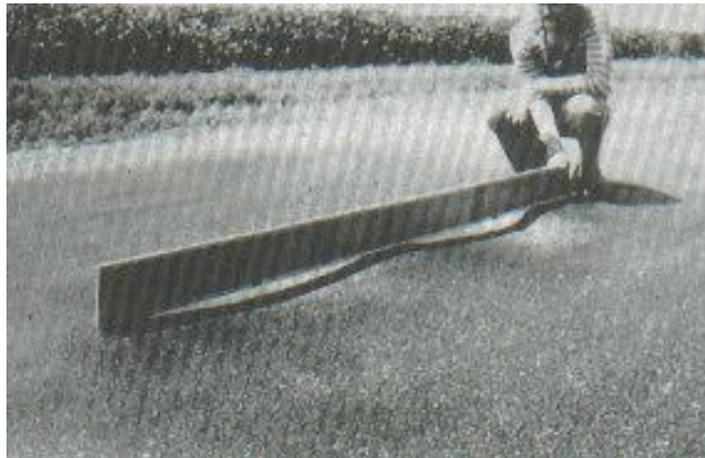


Imagen 2.10. Corrugación de alta severidad.

2.4.3.5. Bache

Desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han

³³ Pavement Conditionindex (PCI) Para Pavimentos Asfálticos de Concreto en Carreteras ING. ESP. V., LUIS. Manizales, Febrero de 2002.

desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.³⁴



Imagen 2.11. Bache, con pérdida de material de base

2.4.3.6. Pérdida de capa de rodadura (peladuras)

Desprendimiento de la última capa delgada, de tratamientos superficiales, tales como:

- Lechadas (Slurry Seal).
- Microcarpetas (1 a 2 cm).
- Capas de rodadura (carpetas) de 2 a 3 cm.
- Sobrecapas o sobrecarpetas delgadas de 3 a 5 cm.

Causas comunes:

Limpieza insuficiente previa al tratamiento superficial.

- Esparcido heterogéneo del ligante (asfalto).
- Ligante inadecuado.

³⁴ SIECA (2000). MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS. TOMO III. Guatemala: .

- Dosificación árido (pétreo) – ligante (asfalto) inadecuada
- Colocación con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo, que produce delaminación.
- Compactación deficiente (si procede).
- Fraguado incompleto después de apertura al tránsito.
- Envejecimiento del ligante (asfalto).³⁵



Imagen 2.12. Pérdida de la capa de rodadura (peladura)

2.4.3.7. Desgaste de áridos (agregados)

Presencia de agregados (áridos) que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el ligante (asfalto).

³⁵ CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA (2002). M5.1. CATÁLOGO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. : Volumen nº 11.

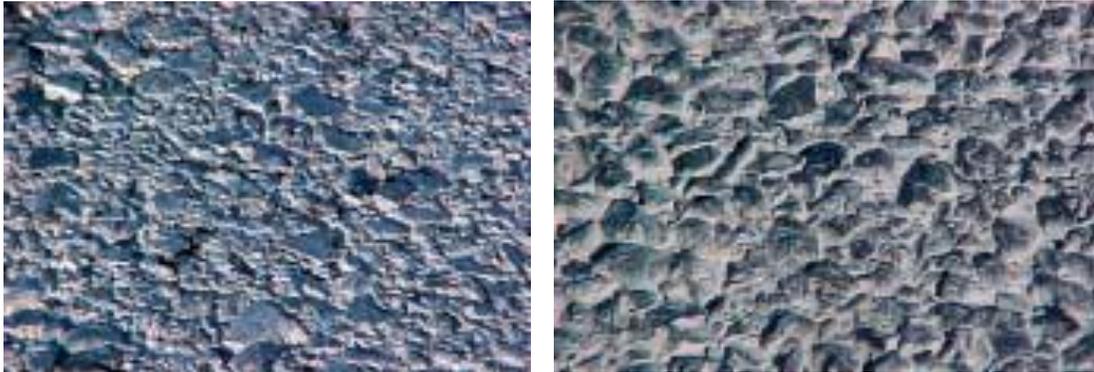


Imagen 2.13. Desgaste de áridos (agregados)

Frontera y tipo de intervención: Los tramos afectados, sí corresponden a una capa de rodadura mayor que 5 cm, se fresan de inmediato. Si corresponden a un tratamiento superficial o microcarpeta, se aplica un nuevo tratamiento, con áridos (agregados) duros.

Causas comunes: Uso de áridos (agregado) suaves (p. ej. calizas) susceptibles al pulimiento.³⁶

2.5. MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

La importancia de contar con caminos adecuados, genera la necesidad de administrar un sistema de mantenimiento de pavimentos, que permite preservar su condición original en forma eficiente, considerando todos los elementos que conforman un camino.

Cuando una red vial no es conservada eficientemente, esta se ve afectada en los siguientes factores de desempeño:

- Comodidad y seguridad del viaje.
- Costos de operación.
- Tiempos de viaje de los vehículos.

³⁶ CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA (2002). M5.1. CATÁLOGO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. : Volumen nº 11.

- Inversión en los procesos de restauración.

Lo anterior obliga a plantearse la interrogante de cuándo y cuánto intervenir y cómo medir la eficiencia de la solución adoptada.

El criterio más usado es la serviciabilidad, concepto establecido por AASHTO, que se define como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. La serviciabilidad comprende la capacidad funcional y estructural.

Las acciones para el mantenimiento de pavimentos son generalmente focalizadas en mantener el agua fuera y lejos de la estructura. Esto implica mantener la superficie en una condición de impermeabilidad, y además asegurarse que las medidas de drenaje son efectivas, de tal forma que el agua no quede atrapada en el borde del camino y apuntan a mantener la flexibilidad y durabilidad de la superficie, y sólo atacan el deterioro producido por el medio ambiente. La deformación y grietas de fatiga causadas por las cargas de tráfico no pueden ser tratadas en forma efectiva con acciones de mantenimiento superficial y requieren alguna forma de rehabilitación.

La Imagen 2.14. presenta el gráfico de un PMS (Pavement Management System, Sistema administrador de Pavimentos) típico, el cual muestra la efectividad del mantenimiento oportuno y de las medidas de rehabilitación.³⁷

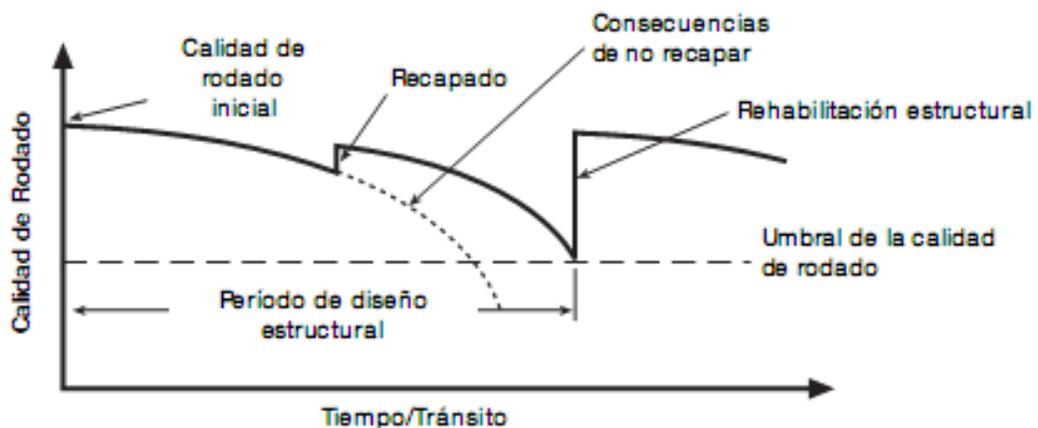


Imagen 2.14. Administrador de Pavimentos

³⁷ Wirtgen(2004), Manual de Reciclado en Frío.

Esta Imagen destaca la importancia de tomar las acciones a tiempo para mantener la calidad de rodado tan alta como sea posible. La tasa de deterioro se estima mediante la calidad de rodado. Entre peor sea la calidad de rodado, mayor será la tasa de deterioro. A medida que la calidad de rodado se reduce, las acciones de mejoramiento del pavimento deberán ser mayores, así como el costo de tales medidas.

Como se ha mencionado existen tres niveles o categorías de mantenimientos: preventivo, correctivo y de emergencia. La diferencia estriba en el estado del pavimento al momento de la intervención y tiene gran influencia en el costo-efectividad del tratamiento utilizado.

Para un mantenimiento preventivo exitoso debe aplicarse en forma sistemática y realizarse un seguimiento a fin de determinar la efectividad del mismo. En la Tabla 2.4 se indican los resultados de las investigaciones de Geoffroy quien condujo una evaluación de 60 agencias de caminos en los EEUU sobre los beneficios de los mantenimientos preventivos aplicados. En dicha tabla se puede observar el incremento de vida útil del pavimento con la aplicación de diferentes tratamientos y la frecuencia de aplicación de los mismos.

Tabla 2.4. Observaciones del Comportamiento de Tratamientos en Mantenimiento Preventivo

TRATAMIENTO	EDAD DEL PAVIMENTO	FRECUENCIA	INCREMENTO DE VIDA UTIL
Relleno de Fisuras	5 - 6	2 - 4	2 - 4
Chip-Seal	7 - 8	5 - 6	5 - 6
Chip-Seal Multiple	7 - 8	5 - 6	5 - 6
Slurry Seal	5 - 10	5 - 6	5 - 6
Micro Aglomerados	9 - 10	5 - 6	5 - 6
Micro-Aglomerados en caliente	9 - 10	9 - 10	7 - 8

Se observa que la implementación de tratamientos superficiales preventivos aumenta en gran medida la vida útil del pavimento en lo que corresponde a su superficie, siendo énfasis en el aumento de 7-8 que logro el micro-Aglomerado en Caliente.

2.5.1. Serviciabilidad Funcional

La serviciabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que en una carretera bien diseñada, es el principal factor que define el nivel de la serviciabilidad funcional que presta.

Son muchos los tipos de degradaciones superficiales que pueden darse en una capa de rodadura, estos se pueden agrupar en tres tipos:

- Fisuraciones
- Deformaciones
- Degradaciones Superficiales(textura)

2.5.1.1. Fisuraciones

Las fisuras aparecen de muchas formas. En algunos casos el tratamiento correcto puede ser el llenado o sellado de las fisuras simples; en otros puede ser necesaria la remoción completa del área afectada y ejecución del drenaje, reconstrucción de bases antes de efectuar las reparaciones efectivas. Para realizar las mejoras adecuadas, se deben determinar las causas del agrietamiento.

El objetivo primordial a la hora de combatir las fisuras es evitar la entrada de agua a las capas inferiores del pavimento, ya que se presentarían problemas como: el deterioro en los bordes de la grieta, degradación de la capa de rodadura, degradación del núcleo y disminución de la vida útil.

Las fisuras más comunes se clasifican en:

- Fisuras longitudinales y transversales
- Fisuras en juntas de construcción
- Fisuras de reflexión
- Fisuras de borde
- Fisuras en bloque
- Piel de cocodrilo

2.5.1.2. Deformaciones

La deformación de la carpeta es el resultado de la debilidad estructural del pavimento o del movimiento del suelo de la subrasante, donde ha tenido lugar la compactación o donde se ha compactado la base. Puede o no estar acompañada de grietas, pero en cualquier circunstancia, produce un riesgo para el tráfico.

Las deformaciones más comunes son:

- Ahuellamiento
- Corrugación
- Desplazamiento
- Depresiones

2.5.1.3. Degradaciones Superficiales

Es el tipo de falla que menos se denuncia, debido a que no son defectos estructurales, sin embargo, influye de manera negativa en la seguridad y confort. Estas causan un efecto significativo en la serviciabilidad del pavimento y su resistencia al deslizamiento.

Las tipos más comunes son:

- Desgaste superficial
- Pérdida de agregado

- Exudación de asfalto
- Pulimento (Polishing)
- Envejecimiento

2.5.2. Serviciabilidad Estructural

Representa la condición física en que se encuentra el pavimento; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir. Es decir, se refiere a las fallas de fondo, que alteran o reducen la capacidad estructural del pavimento. Su rehabilitación debe restaurar la capacidad inicial para el cual el diseño fue realizado.

Los tipos más comunes son:

- Descascaramiento
- Baches

2.5.3. Tratamientos superficiales

2.5.3.1. Generalidades

Las Técnicas de Rehabilitación Superficial incluyen cualquier aplicación de una capa de asfalto o mezcla asfáltica con o sin agregado sobre una superficie de carretera. El espesor de tales aplicaciones varía comúnmente en el rango de 8 mm a 25 mm. Su propósito es la de sellar el pavimento y mejorar o proteger las características de la superficie de la carretera, pero generalmente no provee incremento en la capacidad estructural del pavimento.

Las funciones de las Técnicas de Rehabilitación Superficial pueden ser resumidas de la siguiente forma:

- Proveer una nueva superficie de desgaste.

- Sellado de grietas en la superficie.
- Impermeabilización de la superficie.
- Mejoramiento de la fricción y drenaje de la superficie del pavimento.
- Reducción del envejecimiento del pavimento.
- Mejoramiento de la apariencia superficial.
- Demarcación de los hombros, diferenciándolos de los carriles de tránsito.

Todas las Técnicas de Rehabilitación Superficial proveen una nueva superficie de desgaste, sin embargo, aquellas aplicaciones que incluyen agregados, especialmente los agregados de mayor tamaño son frecuentemente aplicados para mejorar específicamente las características de desgaste del pavimento.

Las Técnicas de Rehabilitación Superficial se clasifican por su composición (las cuales pueden ser sólo de asfalto o una combinación de asfalto, agregado, modificadores), y por su uso.

2.5.3.2. Tipos de tratamiento Superficiales

Lechada Asfáltica (Slutty Seal)

Un sello con lechada asfáltica consiste en una mezcla de emulsión diluida con agregado fino en un mezclador especial en el sitio de trabajo y colocada sobre la superficie del pavimento. El espesor de la lechada asfáltica es generalmente menor a 9.5 mm, produciéndose una mínima pérdida de altura del cordón.³⁸

Usos.

- Es una técnica de mantenimiento preventivo y/o correctivo.
- Corrige irregularidades superficiales menores. Sella fisuras superficiales.
- Evita el desprendimiento de agregados.

³⁸ SIECA (2000). Ing. Jorge Colorado. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Tomo III

- Mejora la resistencia al deslizamiento para velocidades inferiores a 64 km/h. Se recomienda para el tratamiento de calles urbanas.
- Impermeabiliza la superficie del pavimento.
- Reduce el deterioro por oxidación.
- Proporciona una superficie de sellado muy resistente al desgaste.

Micro-aglomerado (Microsurfacing)

Una mezcla de emulsión asfáltica, agregado fino bien graduado, filler mineral u otros aditivos y agua. Se aplica en espesores de 3 a 10 mm y se emplea para renovar superficies de pavimento y retardar el ingreso de humedad y de aire en el pavimento subyacente. Las lechadas asfálticas sellan fisuras menores, proveen una textura superficial uniforme y restauran los valores de fricción. Una mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregado triturado de granulometría cerrada, filler mineral, aditivos y agua. Los micro-aglomerantes proveen recapeados de 10 a 20 mm, permitiendo la liberación del tránsito, en condiciones promedio, en una hora. La selección de los materiales y el diseño de la mezcla hacen posible la aplicación en múltiples capas y reperfilados de menor cuantía. El producto puede rellenar huellas de hasta 40 mm de profundidad en una sola pasada y provee superficies con altos valores de resistencia friccional. Los microaglomerados son adecuados para carreteras de alta velocidad, de accesos controlados, así como en calles residenciales, arterias y carreteras.

Usos.

- Ofrece protección al pavimento subyacente.
- Mejora los valores de fricción superficial.
- Puede aplicarse para el relleno de ahuellamientos. Existen equipos especiales que permiten rellenar huellas hasta de 40 mm (1 ½") en una sola pasada.
- Puede aplicarse para realizar reperfilados menores en el pavimento.

- El Micro-Aglomerado puede ser empleado para el recapado general de calles y carreteras de tráfico medio y pesado.

Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor

Las características que definen estos tipos de mezclas asfálticas en caliente con respecto a las mezclas convencionales son: espesores menores de 40 mm, agregados totalmente provenientes de la trituración de rocas sanas y de alta calidad, filler, cementos asfálticos modificados, estabilizantes, y granulometrías especiales. Por su espesor se dividen en Finas, Muy Finas y Ultrafinas. Por su granulometría se dividen en Densas con continuidad, Densas con discontinuidad, y Abiertas.

En las mezclas *densamente graduadas* y con curvas continuas la distribución de tamaños de agregados se realiza de manera que los vacíos de las fracciones gruesas sean llenados por las fracciones finas dejando espacio suficiente para el ingreso del ligante y vacíos de aire. De esta manera la estabilidad de la mezcla se logra a través de la sucesión de contactos entre las distintas fracciones con un mínimo de asfalto y de vacíos de aire.

El sistema descrito con sus variantes (espesores, ligantes, adiciones, etc.) es aplicado normalmente como tratamiento preventivo de la superficie. Adicionalmente pueden también aplicarse como corrector de fallas menores en la superficie, y eventualmente en tratamientos de emergencia a fin de preservar la integridad del pavimento antes de la aplicación de un refuerzo o reconstrucción.

En este sentido las micro-mezclas tienen un gran potencial como tratamiento preventivo para preservar la estructura y extender la vida útil del pavimento. El mantenimiento preventivo son operaciones de rehabilitación de la superficie con el fin de mejorar y extender la vida de servicio del mismo y supone la aplicación de un plan de mantenimiento que a su vez supone la utilización de dichos tratamientos en forma sistemática.

Usos:

- Ofrece protección al pavimento subyacente.

- Mejora los valores de fricción superficial.
- Puede aplicarse para el relleno de ahuellamientos. Existen equipos especiales que permiten rellenar huellas hasta de 40 mm (1 ½") en una sola pasada.
- Puede aplicarse para realizar reperfilados menores en el pavimento.
- El Micro-Aglomerado puede ser empleado para el recapado general de calles y carreteras de tráfico medio y pesado.

Riego de Neblina (Fog Seal)

Es una ligera aplicación de emulsión asfáltica de rotura lenta diluida en agua, distribuida sobre una superficie asfáltica existente. Esta aplicación sella y rejuvenece la superficie asfáltica, dependiendo del tipo de emulsión usada y la condición de la superficie del pavimento existente. El riego pulverizado (Fog Seal) ha sido usado más frecuentemente como una actividad de mantenimiento en la conservación de hombros.

Usos.

- Renovación de viejas superficies asfálticas.
- Sellar pequeñas fisuras y vacíos superficiales.
- Recubrir partículas de agregado en la superficie.
- Prevenir el desprendimiento de partículas de agregado.

Sellado Doble (Double bituminous surface treatment)

Un tratamiento de superficie que consiste en la aplicación de un agregado de gran tamaño, luego de un riego con una emulsión asfáltica (normalmente modificada con polímeros), y finalmente una cubierta de agregado de menor tamaño.

Tratamiento Superficial Múltiple (Multiple bituminous surface treatment)

Dos o más tratamientos superficiales colocados uno a continuación del otro. El tamaño máximo del agregado de cada tratamiento siguiente es usualmente la mitad del correspondiente al tratamiento anterior y el espesor total del pavimento aproximadamente igual al tamaño máximo del primer tratamiento. Un tratamiento superficial múltiple puede ser una serie de tratamientos simples que resultan en una capa de pavimento de hasta 25 mm o más de espesor.³⁹ Un tratamiento superficial múltiple es una capa de desgaste y de impermeabilización más cerrada que la capa correspondiente a un tratamiento superficial simple y agrega algo de resistencia.

Usos.

- Provee nivelación a la superficie tratada.
- Provee una superficie impermeable, resistente al deslizamiento, sobre una estructura de pavimento existente.
- Proporciona una superficie de sellado muy resistente al desgaste.

Tratamiento Superficial Simple (Single bituminous surface treatment)

Un tratamiento superficial simple implica el riego de un ligante asfáltico, el cual puede ser cemento asfáltico, asfalto rebajado o emulsión asfáltica, seguido de un inmediato extendido y rodillado de una fina capa de agregado.

Usos.

- Como medida provisoria, previo a la aplicación de una mezcla asfáltica
- Para corregir desprendimientos en la superficie y oxidación de pavimentos.
- Para proveer una superficie impermeable, resistente al deslizamiento, sobre una estructura de pavimento existente.

³⁹ SIECA (2000). Ing. Jorge Colorado. Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras. Tomo III

- Como un procedimiento de mantenimiento preventivo o provisorio, particularmente adecuado para tráfico liviano y medio.
- Los tratamientos simples se pueden aplicar a continuación de un sellado de fisuras.
- El tratamiento superficial es aplicado para resistir la acción abrasiva del tráfico.

2.5.4. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Las características funcionales de una vía son de gran importancia, ya que determinan las condiciones de seguridad y comodidad de los usuarios, como también repercuten en el aspecto económico, relacionados con los costos de operación de los vehículos y mantenimiento de las carreteras. Diferentes investigaciones realizadas al respecto, revelan que los costos de operación de los vehículos dependen de la magnitud de las irregularidades superficiales del pavimento, afectando las velocidades de circulación, el desgaste de las llantas y el consumo de combustible. Es importante mencionar que dichas irregularidades, no solo provocan efectos dinámicos nocivos en los vehículos; sino también en el pavimento, modificando el estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura de la vía, lo que produce también incrementos en las actividades de conservación y rehabilitación.

La definición del IRI (Índice de Regularidad Internacional) se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos, todo ello, en base a un modelo que simuló el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de carro) al circular por una determinada longitud de perfil de la carretera, a una velocidad estándar de 80 km/h.⁴⁰

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es una medida de la regularidad (lisura) que presenta una superficie a lo largo de un perfil. Para el caso de carreteras, lo que se

⁴⁰ Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), Viceministerio De Obras Públicas Unidad De Investigación y Desarrollo Vial

persigue es representar la calidad de viaje de un vehículo al circular, por lo que la medición de los perfiles se lleva a cabo en la zona de las roderas.

El IRI se considera una característica importante de los pavimentos ya que se le relaciona con diversos factores, tales como: a) desempeño del pavimento a lo largo de su vida útil; b) confort del usuario al circular por la superficie; c) seguridad al manejar; d) costos de operación de los vehículos, otros.

El IRI puede ser medido a través del empleo de diversos equipos, los cuales pueden ser del tipo estático o dinámico. Los equipos de tipo estático se consideran de bajo rendimiento, sin embargo se caracterizan por tener una muy buena precisión; mientras que los equipos del tipo dinámico son de alto rendimiento (usualmente son instalados en vehículos o remolques, alcanzando rendimientos diarios de hasta 300 km). La precisión de ambos equipos depende de una debida calibración, así como del cumplimiento de determinadas características para el muestreo de datos a lo largo del perfil (muestreo longitudinal), y de la resolución de mediciones verticales.

Usualmente, la regularidad de una vía incrementará a medida transcurre su vida útil, viéndose afectada en mayor medida cuando la regularidad alcanzada inmediatamente después de su construcción es considerable (alta regularidad inicial); de ahí la necesidad de implementar procesos constructivos adecuados, con el objeto de obtener superficies con una buena regularidad inicial. A modo de ejemplo, algunos de los factores que generan un incremento de la regularidad superficial a lo largo de la vida útil de un pavimento son los siguientes:

- Daños localizados en el pavimento, tales como depresiones, hoyos y grietas.
- Corrugaciones superficiales ocasionadas por el tráfico.
- Factores medioambientales combinados con las propiedades que presentan las capas de la estructura de pavimento, tales como: pobre drenaje, presencia de suelos expansivos sin un adecuado control de los cambios en la humedad de los mismos, mala densificación de la subrasante, otros.

Actualmente, el Índice de Regularidad Internacional (IRI) forma parte de los parámetros recopilados en las bases de datos de las agencias que administran redes de carreteras, con la finalidad de contribuir en la planificación del mantenimiento de las carreteras de manera oportuna. Por lo anterior, la regularidad de un pavimento es frecuentemente utilizada como un índice de Calidad, ya que se ve influenciada por diversos daños que afectan a una carretera (ahuellamiento, agrietamiento, otros).

2.5.4.1. Características del modelo

Este modelo se desarrolló a través de un conjunto de masas ligadas entre si, las cuales generan un movimiento vertical al ser desplazadas por el camino, de esta forma se permite reducir el análisis de una superficie al análisis de una línea que representa el perfil longitudinal, es decir, desde un análisis bidimensional a un estudio unidimensional.

El modelo de Cuarto de Carro utilizado en el algoritmo del IRI debe su nombre a que implica la cuarta parte de un vehículo. El modelo se muestra en la Imagen 2.15; que incluye una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador, y la masa del vehículo soportada por la suspensión de dicha rueda.⁴¹

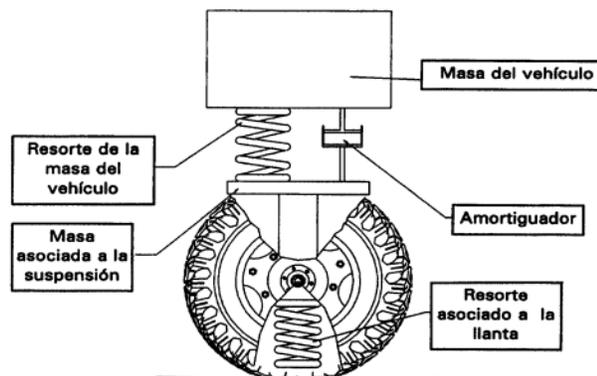


Imagen 2.15. Modelo Cuarto Carro.

⁴¹ Arriaga, Garnica, Rodriguez (1998). ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD EN LA RED CARRETERA DE MÉXICO.

EL modelo Cuarto de Carro fue ajustado para poder establecer una correlación con los sistemas de medición de rugosidad del tipo respuesta.

2.5.4.2. Escala y características del IRI

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

- ✓ Las unidades están en mm/m, m/km o in/mi

- ✓ El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable. En la Imagen 2.16. se presentan las características de los pavimentos dependiendo del valor del IRI, según las experiencias recogidas por el Banco Mundial en diversos países.

- ✓ Para una superficie con pendiente constante sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, no así los cambios de pendiente.⁴²

⁴² Arriaga, Garnica, Rodríguez (1998). ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD EN LA RED CARRETERA DE MÉXICO.

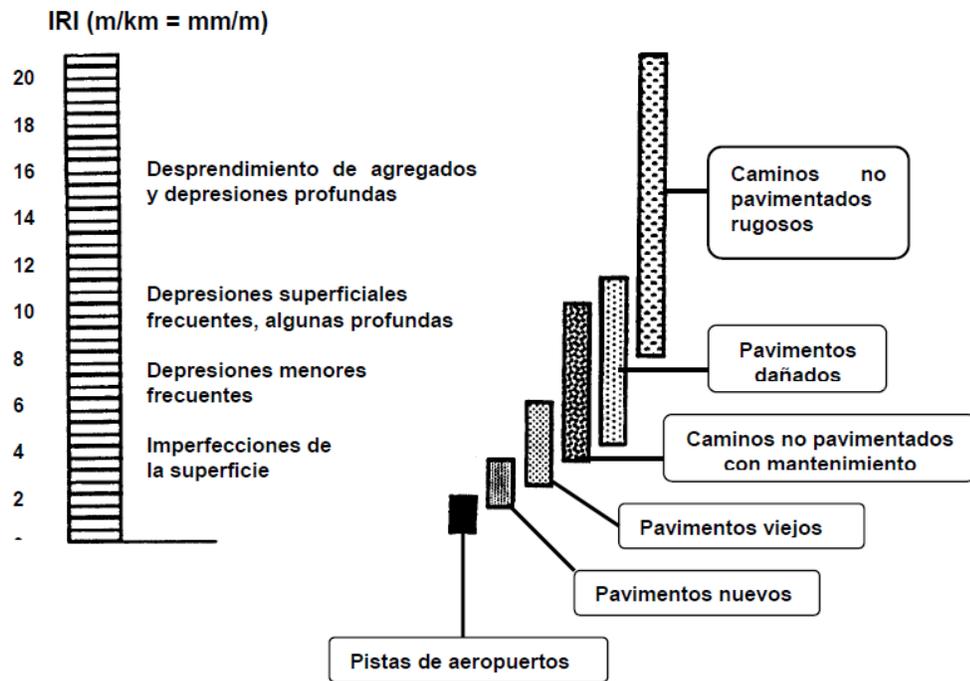


Imagen 2.16. Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.

2.6. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN Y PROYECTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA.

En muchas ocasiones, el proyecto de una mezcla asfáltica se reduce a determinar su contenido de ligante, sin embargo, esa es solo la última fase de un proceso más amplio, que requiere de un estudio cuidadoso de todos los factores involucrados, a fin de garantizar un comportamiento adecuado de la mezcla y un considerable ahorro económico en la solución.⁴³

Las fases de las que consta el proyecto de una mezcla son las siguientes:

- Análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla: tráfico, tipo de infraestructura (carretera, vía urbana, aeropuerto, etc.), la capa de la que se trata

⁴³ Padilla Rodríguez, Alejandro (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista.*

(rodadura, intermedia o base) y espesor, naturaleza de las capas subyacentes, intensidad del tráfico pesado, clima, etc. Asimismo, hay que distinguir si se trata de un firme nuevo o de una rehabilitación.

- b) Determinación de las propiedades fundamentales que ha de tener la mezcla, dadas las condiciones en las que ha de trabajar. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras.
- c) Elección del tipo de mezcla que mejor se adapte a los requerimientos planteados, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar.
- d) Materiales disponibles, elección de los agregados pétreos, los cuales deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un costo razonable. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación.
- e) Elección del tipo de ligante: asfalto, asfalto modificado, emulsión asfáltica, el costo es siempre un factor muy relevante.
- f) Dosificación o determinación del contenido óptimo de ligante según un proceso que debe adaptarse al tipo de mezcla, la cual debe hacerse para distintas combinaciones de las fracciones disponibles del agregado pétreo, de manera que las granulometrías conjuntas analizadas estén dentro de un huso previamente seleccionado.
- g) Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: exigencias de seguridad vial, estructura del firme, técnicas de diseño y ejecución, sitio de construcción del pavimento (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), condiciones de drenaje, consideraciones económicas.

Para realizar el proyecto de una mezcla asfáltica que se empleará en un determinado pavimento existe una gama amplia de posibles soluciones, para esto se hace necesario un

estudio muy riguroso y detenido, para elegir el diseño más adecuado técnica y económicamente.

2.7. METODOLOGÍAS DE SELECCIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS PARA PRODUCIR MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

En general, la selección del tipo de cemento asfáltico para producir una mezcla asfáltica en caliente, que será utilizada en la construcción de la capa de rodadura de una estructura de pavimento, debe considerar principalmente las condiciones climatológicas y las solicitaciones de carga debido al flujo vehicular, a las que se verá sometido el pavimento durante su etapa de servicio. Lo anterior, con el objeto de alcanzar un adecuado desempeño de la estructura de pavimento, minimizando la ocurrencia de deficiencias prematuras tales como ahuellamiento, agrietamientos entre otros.

Al respecto, la Guía para el Diseño de Estructura de Pavimento 1993 de la American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO), indica en el numeral 1.7 ENVIROMENT, página I 22, que existen dos principales factores ambientales que deben ser considerados para el desempeño y diseño estructural del pavimento, correspondientes a la temperatura y la lluvia. Asimismo en dicha Guía, en la página I 27 del numeral 1.7, se hace referencia a que en las recomendaciones del documento "Minimizing Premature Cracking in Asphaltic Concrete Pavement," NCHRP Report 195, 1978, se indica que los asfaltos de grado suave, por ejemplo AC-5 o equivalente debería ser utilizado en climas fríos (cuando la temperatura promedio anual del aire es menor que 45°F (7.2°C)) y que grados más duros, por ejemplo AC-20 o equivalente, en climas calientes (cuando la temperatura promedio anual del aire es mayor que 75°F (23.9°C)). Se indica además que la selección específica del grado de asfalto deberá estar en función de la experiencia local; sin embargo, se recomienda tener en consideración los aspectos antes citados.⁴⁴

⁴⁴ VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (2010). SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO PARA PRODUCIR MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN EL SALVADOR.

En este mismo orden, existen diferentes metodologías recomendadas internacionalmente para la selección del tipo de cemento asfáltico para la producción de mezclas asfálticas en caliente, considerando las condiciones climáticas que se generan en la zona de emplazamiento final de la mezcla asfáltica. En esta investigación, se hará referencia a las siguientes metodologías:

- 1. Método de SUPERPAVE**
- 2. Método del Instituto del asfalto**
- 3. Método del Departamento de Defensa de Los Estados Unidos de América**

A continuación se presentan los aspectos que se considera más relevantes sobre cada una de las metodologías antes indicadas.

2.7.1. Método de SUPERPAVE.

Los cementos asfálticos por desempeño, se seleccionan en base al clima en el cual el pavimento estará en servicio, especificándose la temperatura mínima y máxima en la que el asfalto presente un adecuado desempeño. El sistema Superpave⁴⁵ dispone de tres metodologías a través de las cuales se puede seleccionar el grado de asfalto, las cuales corresponden a:

Área Geográfica. La Agencia de Carreteras desarrolla un mapa, donde se muestre los grados de asfalto a ser usado por el Diseñador, con base en las condiciones climáticas o políticas establecidas.

- **Temperatura del Pavimento.** El Diseñador determina la temperatura de diseño del pavimento.
- **Temperatura del aire.** El Diseñador determina la temperatura del aire, las cuales son convertidas a temperatura de diseño del pavimento.

⁴⁵ SUPERPAVE MIX DESIGN, Asphalt Institute, Superpave Series No.2 (SP-2)

La selección del grado de cemento asfáltico, a partir de la temperatura del aire, es obtenido de la base de datos de estaciones meteorológicas, de las cuales se determina la temperatura promedio del aire correspondiente al periodo de siete días continuos más calientes registrados en cada una de las estaciones meteorológicas disponibles. De acuerdo a los investigadores del programa

SHRP, seleccionaron el valor promedio de estos siete días como un método óptimo para caracterizar la condición de diseño para altas temperaturas. En el caso de zonas donde se generan temperaturas muy bajas, se recomienda utilizar la temperatura del aire del día más frío.

Es importante considerar que la temperatura que será utilizada en la selección del grado de cemento asfáltico corresponde a la temperatura del pavimento y no a la temperatura del aire. Al respecto, SUPERPAVE define la máxima temperatura de diseño del pavimento a una profundidad de 20 mm bajo la superficie y la mínima temperatura de diseño del pavimento en la superficie del pavimento. Con el objeto de determinar la temperatura del pavimento de manera indirecta, desarrollaron modelos considerando entre otros parámetros valores típicos de: absorción solar, transmisión de radiación a través del aire, radiación atmosférica y velocidad del aire.⁴⁶

La ecuación desarrollada para determinar la máxima temperatura de diseño del pavimento, es la siguiente:

$$T_{20mm} = (T_{air} - 0.00618 Lat^2 + 0.2289 Lat + 42.2) * (0.9545) - (17.78),$$

Donde:

T_{20mm} = Máxima temperatura de diseño del pavimento a una profundidad de 20 mm (°C).

T_{air} = Temperatura promedio máxima del aire correspondiente al periodo de siete días continuos más calientes (°C).

⁴⁶ VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (2010). SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO ASFALTICO PARA PRODUCIR MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN EL SALVADOR.

Lat = Latitud geográfica del proyecto en grados.

La ecuación desarrollada para determinar la temperatura mínima del pavimento es la siguiente:

$$T_{\text{mín}} = (0.859) * (T_{\text{air}}) + (1.7),$$

Donde:

$T_{\text{mín}}$ = Mínima temperatura de diseño del pavimento (°C).

T_{air} = Temperatura mínima del aire en año promedio (°C)

Cabe señalar que en el proceso de selección del grado de cemento a utilizar, el Diseñador deberá considerar adicionalmente cierto grado de confiabilidad, relacionado con la probabilidad de que las temperaturas que ocurran en la zona no superen las temperaturas máximas y mínimas de diseño.

Asimismo, el diseñador deberá tener en cuenta que la selección del grado de asfalto con base en los datos de clima, considera que la capa de rodadura donde estará incorporado el asfalto, estará sometida a cargas rápidas (velocidad: 90 km/h) y para un tráfico de aproximadamente 30 millones de ESAL's, estimados para un periodo de 20 años. Por lo anterior, en vías que estarán sometidas a tráfico lento o estacionario y/o mayores niveles de carga vehicular, respecto a los establecidos en el modelo, debe realizarse un incremento de uno o dos grados en el asfalto seleccionado con los criterios de clima, tal como se resume en la Tabla 2.5.⁴⁷

⁴⁷ VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (2010). SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO ASFALTICO PARA PRODUCIR MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN EL SALVADOR.

Tabla 2.5. Ajuste del grado de cemento asfáltico (PG) con base en volumen y velocidad de tráfico.

Volumen de Tráfico ESAL's (Millones)	Condición de Velocidad del Vehículo		
	Estacionaria	Baja	Estándar
< 0.3	----	----	----
0.3 – 3	2	1	----
3 – 10	2	1	----
10 – 30	2	1	----
> 30	2	1	1

Fuente: Adaptado *Superpave Fundamentals Reference Manual*, National Highway Institute

Cabe señalar que lo anterior debe aplicarse en zonas donde se generan temperaturas altas, ya que dichas variables no son influyentes a bajas temperaturas. Si se desea mayor información sobre estos aspectos, puede referirse al documento SUPERPAVE MIX DESIGN, Asphalt Institute, Superpave Series No.2 (SP-2).

2.7.2. Método del Instituto del Asfalto.

El Instituto del Asfalto, en el documento THICKNESS DESIGN Asphalt Pavements for Highways & Street, Manual Series No.1 (MS-1), en el Capítulo VI Structural Design Procedure, indica que las mezclas asfálticas son influenciadas por la temperatura, por lo que en general se recomienda que los grados de asfalto a utilizar correspondan a las condiciones de temperatura que prevalezcan. Al respecto, en dicho documento se presentan algunos criterios para la selección del grado de cemento asfáltico para diferentes condiciones de temperatura, los cuales se basan en la Temperatura media anual del aire registrado en la zona donde se desarrollará el proyecto.⁴⁸

⁴⁸ VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (2010). SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO ASFALTICO PARA PRODUCIR MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN EL SALVADOR.

A continuación en la Tabla 2.6, se presenta los criterios de selección del grado de asfalto:

Tabla 2.6. Criterios de selección de grado de asfalto según Instituto del Asfalto

Condición de Temperatura	Temperatura Media Anual del Aire	Grados de Asfalto recomendados	
Fría	Menor o igual a 7°C (45°F)	AC-5 AR-2000 120/150 PEN	AC-10 AR-4000 85/100 PEN
Cálida	Entre 7°C (45°F) y 24°C(75°F)	AC-10 AR-4000 85/100 PEN	AC-20 AR-8000 60/70 PEN
Caliente	Mayor o igual a 24°C (75°F)	AC-20 AR-8000 60/70 PEN	AC-40 AR-16000 40/50 PEN

Fuente: Adaptado de THICKNESS DESIGN Asphalt Pavements for Highways & Street, Manual Series No.1 (MS-1)

2.7.3. Método del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América.

La metodología a la que se hace referencia en este apartado, se presenta de manera detallada en el documento **STANDARD PRACTICE MANUAL FOR FLEXIBLE PAVEMENTS del Departamento de Defensa** de los Estados Unidos de América. La metodología se basa fundamentalmente en el análisis estadístico de los registros históricos de temperaturas ocurridas en una región y su correlación con las propiedades físicas de los cementos asfálticos, a partir de lo cual se selecciona el tipo de cemento asfáltico más apropiado para la producción de mezclas asfálticas en caliente.⁴⁹

En el método se consideran las temperaturas promedio máximas mensuales de una región, para determinar un parámetro identificado como **Índice de Temperatura del Pavimento (Pavement Temperature Index, PTI)**. Si en una región se han registrado temperaturas promedio máximas mensuales por encima de 23.9°C (75°F), el valor de PTI se determina como la suma de los excedentes de 23.9°C. En regiones donde las

⁴⁹ VICEMINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (2010). SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO ASFALTICO PARA PRODUCIR MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN EL SALVADOR.

temperaturas promedio mensuales no exceden 23.9°C, el valor de PTI se determina como la diferencia entre la temperatura promedio máxima más alta para el mes más cálido y 23.9°C. A partir de los resultados de PTI, se establecen criterios para clasificar la temperatura de una región, lo cual es posteriormente utilizado como una guía en la selección del cemento asfáltico; lo anterior se presenta en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Criterio de selección del cemento asfáltico basado en el Índice de Temperatura del Pavimento

Índice de Temperatura del Pavimento acumulado	Temperatura de la Región	Criterios de selección del cemento asfáltico
Menores que 16.7°C (30°F)	Fría	Utilizar Método Penetración-Viscosidad para regiones frías
De 16.7°C a 44.4°C (30°F a 80°F)	Calida	Utilizar asfalto que posea penetración 85 - 100 (ensayo realizado en asfalto original)
Mayores que 44.4°C (80°F)	Caliente	Utilizar asfalto que posee una penetración 60 - 70 (ensayo realizado en asfalto original)

Fuente: Adaptado de Table 2-3 Asphalt Cement Selection Criteria Based on Pavement Index, Standard Practice Manual for Flexible Pavement.

CAPITULO III.
PRUEBAS DE LABORATORIO,
DISEÑO DE MEZCLA Y
ANALISIS DE RESULTADOS.

Este Capítulo establece el procedimiento a utilizar en el Diseño del Micropavimento en caliente con asfalto modificado con Polímero tipo SBS y Parafina tipo Wax, en un espesor de 20 mm., para la conservación de los pavimentos.

Para efecto de este Diseño particular, el MICROPAVIMENTO en caliente consiste en la asociación del agregado mineral y Cemento Asfáltico modificado con Polímero (SBS) y Parafina Wax.

El diseño de la mezcla asfáltica de microaglomerado en caliente tiene como objetivo proporcionar una mejor resistencia a la tracción, ya que de esto depende en gran medida el desempeño de la superficie de rodadura en la vida útil del pavimento. De ahí, la importancia de simular de manera adecuada en el laboratorio lo que ocurre en campo, llegando a la mezcla que muestre un mejor comportamiento en condiciones específicas de tránsito y clima.

Las pruebas que se le realizaron están basadas en las especificaciones técnicas proporcionadas por la empresa de ASFALCA (ver Anexo 1.). Según el documento Micropavimento en caliente con asfalto modificado con polímero tipo SBS.

3.1. PRUEBAS A LOS MATERIALES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Las propiedades de mezclado de los sistemas de microaglomerados en caliente son una fusión de las propiedades individuales de los materiales por separado y de la compatibilidad que presenten unos con otros, sin embargo, las propiedades de los materiales también afectan el comportamiento de la mezcla durante la construcción y el comportamiento a corto plazo y durante el periodo de servicio del sistema. De este modo la selección de los materiales debe de ser el primer paso para la optimización de las propiedades de la mezcla que a su vez permitan optimizar la selección de los aditivos y el nivel de uso de los mismos.

Ensayar los materiales individuales para verificar el cumplimiento de las especificaciones establecidas es el primer paso en el proceso de diseño de mezclas para sistemas de microaglomerados en caliente. La caracterización de los materiales

involucra ensayos para determinar sus propiedades físicas las cuales se comparan con las especificaciones establecidas.

Con el fin de establecer la calidad de los agregados y del asfalto utilizado en el diseño de la mezcla se realizaron las pruebas de laboratorio siguientes:

a) Ensayos a los agregados:

Análisis granulométrico ASTM C-136

Resistencia a la Abrasión por la Maquina de Los Ángeles ASTM C-131

Ensayo Durabilidad (al sulfato de sodio) AASHTO T 104, ASTM c 88.

Ensayo Partículas planas y alargadas NLT 354/9, MTC E221-1999

Ensayo Caras fracturadas ASTM D 5821.

Ensayo para la determinación de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del agregado grueso AASHTO T 85, ASTM C 127.

Ensayo Adherencia de agregado grueso ASTM D 3625.

Ensayo de equivalente de arena AASHTO T 176, ASTM D 2419.

Ensayo de Adhesividad (RIEDEL WEBER) NLT 355/93

Ensayo para la determinación de la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del agregado fino ASTM C-128

b) Ensayos de Ligante Asfáltico

Ensayo para determinar la Reología del asfalto ASTM D 2196.

Ensayo de Penetración A 25 °C AASHTO T 49, ASTM D 5

Ensayo de Punto de ablandamiento – anillo y bola AASHTO T 53, ASTM D 36.

Punto de Inflamación AASHTO T 79, ASTM D 3143

Ensayo para determinar la Recuperación elástica torsional A 25 °C NLT 329/91

3.1.1. REQUISITO DEL AGREGADO GRUESO

Los materiales pétreos fueron obtenidos de La Cantera S.A. de C.V. ubicada en San Diego municipio de La libertad. Se utilizará material de grava triturada 3/8”.

Los resultados obtenidos con las pruebas realizadas al agregado grueso así como los requerimientos de las especificaciones técnicas se observan en la Tabla. 3.1, para mayor información de los resultados de las pruebas las tablas de resultados se muestran en anexos.

Tabla 3.1. Resumen de características del agregado grueso

Ensayo	Resultado	Requisitos
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	3%	10% máx.
Abrasión Los Ángeles	22.70%	40% max.
Partículas planas y alargadas	0.93%	10% máx.
Caras fracturadas	93.63%	95/90
Absorción	1.18	1.0% máx.
Adherencia	97%	+95% mín.
Peso específico seco*	2.53	
Peso específico saturado con superficie seca*	2.56	
peso específico aparente*	2.61	

**resultados no solicitados por las especificaciones técnicas pero necesarias para la realización del diseño.*

3.1.1.1. Análisis granulométrico ASTM C 136-03

Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución de tamaño de las partículas de agregados finos y gruesos mediante tamizado.

Los resultados se utilizan para determinar la distribución de tamaños de las partículas.

Equipo a utilizar

Juego de tamices

Balanza con precisión de 0.1%

Agitador mecánico de tamices

Descripción

Se realiza el muestreo, realizando la técnica de cuarteo manual, se seca la muestra en un horno hasta que el peso sea constante, luego se realiza el tamizado por vía húmeda con el tamiz N° 200, procediendo a secar la muestra en el horno nuevamente hasta que su peso sea constante, para determinar la cantidad de fino por lavado; tamizando mecánicamente el material, obteniendo con esto la separación de agregado por cada tamiz, procediendo con el tamizado manual se pesa cada material de cada tamiz para obtener los datos necesarios para realizar la curva granulométrica. El resultado del análisis granulométrico se muestra en la tabla. 3.2.

Tabla 3.2. Granulometría de grava triturada 3/8"

MALLA		% QUE PASA
Número	Mm	Grava 3/8"
3/8"	9.5	99.7
N° 4	4.76	21.6
N° 8	2.38	13.0
N° 16	1.19	8.6
N° 30	0.595	5.7
N° 50	0.297	4.0
N° 200	0.074	1.9

3.1.1.2. Durabilidad (al sulfato de sodio) AASHTO T 104, ASTM C 88.

Este método de ensayo cubre las pruebas de agregados para estimar su solidez cuando se someten a la acción de la intemperie. Esto se logra mediante la inmersión repetida en

solución saturada de sulfato de sodio o magnesio seguido de secado al horno para deshidratar parcial o totalmente la sal precipitada en los espacios de poros permeables.

Este ensayo está basado en la norma AASHTO T 104 con norma equivalente en la norma ASTM C 88.

Equipo a utilizar

Juego de tamices

Contenedores de sumersión de muestra

Balanza de presión de 0.1%

Medidor de gravedad específica (hidrómetro)

Descripción

El ensayo se hace sumergiendo recipientes con fracciones de tamaños clasificados de muestra de agregado en una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio, durante 16 a 18 horas. Después de la inmersión se secan las muestras. Tras un número determinado de ciclos inmersión y secado se determina por tamizado el porcentaje de pérdida de peso. Basándose en la granulometría de la muestra original se determina el porcentaje de pérdida de peso para cada fracción granulométrica. El total de estos valores es el porcentaje de pérdida resultante del ensayo.

3.1.1.3. Abrasión los ángeles AASHTO T 96, ASTM C 131-03.

Esta prueba ha sido ampliamente utilizada como un indicador de la calidad relativa o la competencia de las distintas fuentes de agregado de composiciones minerales similares.

Este ensayo está basado en la norma AASHTO T 96 con equivalente en la norma ASTM C 131.

Equipo a utilizar

Maquina de los ángeles

Esferas de acero

Juego de tamices

Balanza de precisión de 0.1%

Descripción

Esta prueba es una medida de la degradación de los agregados minerales calificando el resultado de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, impacto, y molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número determinado de esferas de acero, el número depende de la clasificación de la muestra de prueba que en este caso sería de 3/8" (ver tabla. 3.3).

Tabla 3.3. Las clasificaciones de las muestras

Tamaño tamiz		Masa de los tamaños indicados(g)			
Pasa	Retenido	Clasificación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2 in.)	25.0 mm (1 in.)	1 250 ± 25			
25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	1 250 ± 25			
19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	1 250 ± 10	2 500 ± 10		
9.5 mm (3/8 in.)	6.3 mm (1/4 in.)			2 500 ± 10	
6.3 mm (1/4 in.)	4.75-mm (No. 4)			2 500 ± 10	
4.75-mm (No. 4)	2.36-mm (No. 8)				5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

3.1.1.4. Partículas planas y alargadas NLT 354/9, MTC E221-1999.

Se define como índice de aplanamiento y alargamiento de una fracción de agregado, el porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión mínima (espesor) es

inferior a $\frac{3}{5}$ de la dimensión media de la fracción y cuya dimensión máxima (longitud) es superior a $\frac{9}{5}$ de la dimensión media de la fracción respectivamente.

Este ensayo está basado en la norma NLT 354/91 con equivalente en la norma MTC E221-1999.

Equipo a utilizar

Calibradores metálicos

Juego de tamices

Balanza de precisión de 0.1%

Descripción

Separando la muestra de ensayo se dispone a utilizar los calibradores tanto de espesor como de su largo para determinar si son planas y largas, la cantidad de partículas que cumpla con las medidas de los calibradores se pesa calculando con este peso el porcentaje de partículas planas y alargadas (ver Imagen. 3.1).

Las dimensiones de los calibradores se presentan en la Imagen. 3.2 y Imagen. 3.3; los resultados se presentan en la tabla. 3.1.



Imagen 3.1. Ensayo de partículas en calibradores

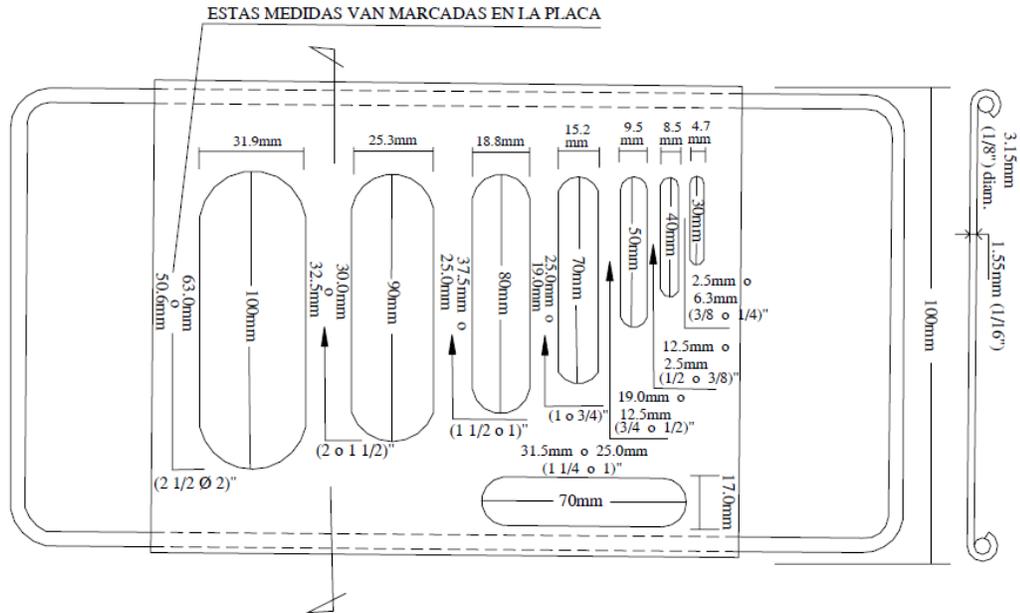


Imagen 3.2. Calibrador de espesores⁵⁰.

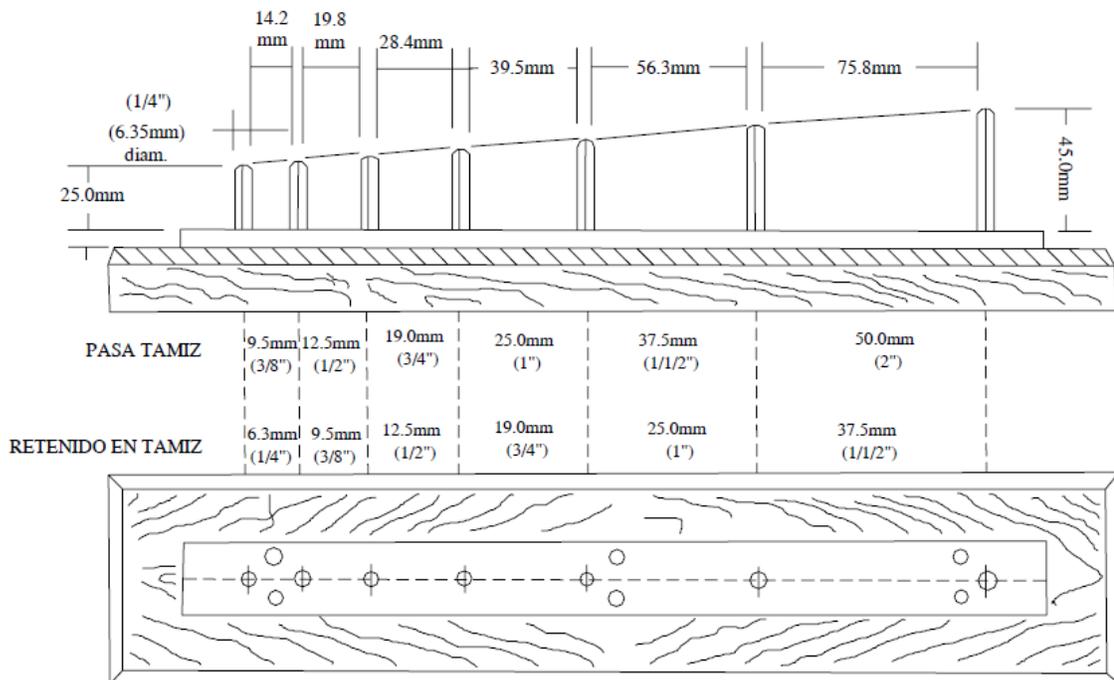


Imagen 3.3. Calibrador de longitud.⁵¹

⁵⁰ MTC E 221 – 1999 Índice de Aplanamiento de Los Agregados Para Carreteras

⁵¹ MTC E 221 – 1999 Índice de Aplanamiento de Los Agregados Para Carreteras

3.1.1.5. Caras fracturadas ASTM D 5821.

Se define como la determinación del porcentaje, por número, de una muestra de agregado grueso que se compone de partículas fracturadas, cumpliendo con las especificaciones dadas. “Es un factor que no solo determina la trabajabilidad y la resistencia final de la mezcla asfáltica, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Una textura áspera, como la del papel lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea mas seguro” (Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, serie de Manuales N° 22 ASPHALT INSTITUTE).

Este ensayo está basado en la norma ASTM D 5821.

Equipo a utilizar

Juego de tamices

Espátula

Balanza de precisión de 0.1%

Descripción

Teniendo preparada la muestra se procede a extenderla en una superficie plana y limpia lo suficientemente grande como para permitir la inspección cuidadosa de cada partícula; en el momento de revisar las partículas si una de ellas posee una cara que constituya al menos una cuarta parte del área de la sección transversal, se considera una cara fracturada. Clasificando las partículas si son fracturadas o no, así como si posee una cara fracturada o más para luego proceder a realizar el cálculo (ver Imagen. 3.4 y Imagen. 3.5). Utilizando la Imagen. 3.6 se guía para poder caracterizar las fracturas de la partícula.



Imagen 3.4. inspección visual de partículas



Imagen 3. 5. colocación de partículas según características



Imagen 3.6. Fractura de partículas (bordes afilados, superficies rugosas)⁵²

3.1.1.6. Absorción AASHTO T 85, ASTM C 127.

El fin de esta prueba es encontrar la absorción del agregado para determinar el porcentaje óptimo de asfalto que absorberá en el momento de realizar la mezcla asfáltica.

La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuara absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto para ligar

⁵² ASTM D 5821– 01 Método de prueba estándar para La determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso.

las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades muchos mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso⁵³.

Este ensayo está basado en la norma AASHTO T 85 equivalente en la norma ASTM C 127.

Al momento de realizar la prueba de absorción se llevara a cabo la determinación de las gravedades del agregado que son muy importantes para el diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall.

Equipo a utilizar

Balanza de precisión de 0.05%

Tanque de agua

Tamiz N°4

Charolas

Franela

Descripción

La obtención de la absorción se realiza teniendo el agregado en la condición saturad superficialmente seca (sss), procediendo a secarlo en el horno hasta que tenga su peso constante; así obtener a cantidad de agua que es capaz de absorber; las gravedades son obtenidas mediante los pesos sumergidos en agua así como los pesados en el aire en la condición sss (ver Imagen. 3.7 y Imagen. 3.8).

⁵³ Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, serie de Manuales N° 22 (ASPHALT INSTITUTE)



Imagen 3.7. Secado de la superficie del agregado para obtener la condición sss



Imagen 3.8. Secado de material en horno

3.1.1.7. Adherencia para agregado grueso ASTM D 3625.

Esta práctica cubre un procedimiento rápido para la observación visual de la pérdida de adherencia en mezclas bituminosas sin compactar, cubierta por la acción del agua hirviendo. Es un indicador de la susceptibilidad del agregado recubierto con bitumen al agua.

Este ensayo está basado en la norma ASTM D 3625.

Equipo a utilizar

Biker de 1000-1200 ml

Plancha calentadora

Pala de muestreo

Descripción

Una muestra de agregado recubierto con material bituminoso (mezcla asfáltica) se coloca en un recipiente de agua destilada hirviendo y se hierven durante 10 minutos. Retirando la muestra de la fuente de calor, retirar el betún que se ha desprendido y está en la superficie del agua, enfriando la muestra hasta temperatura ambiente se decanta el agua y se vacía la muestra húmeda en una toalla de papel blanco, observando visualmente el agregado inmediatamente después que la muestra se coloca en la toalla,

observar la superficie del agregado para determinar cuanta área no se encuentra cubierto por el asfalto. Ver Imagen 3.9 y 3.10



Imagen 3.9. Retiro de asfalto de la superficie del agua



Imagen 3.10. Observación visual de la superficie del agregado

3.1.2. REQUISITO DEL AGREGADO FINO

Los materiales pétreos fueron obtenidos de La Cantera S.A. de C.V. ubicada en San Diego municipio de La libertad. Se utilizara material de arena triturada”.

Los resultados obtenidos con las pruebas realizadas al agregado fino así como los requerimientos de las especificaciones técnicas se observan en la Tabla. 3.4, para mayor información de los resultados de las pruebas las tablas de resultados se muestran en anexos.

Tabla 3.4. Resumen de características del agregado fino

Ensayo	Resultado	Requisitos
Equivalente de Arena	65%	65% min.
Adhesividad (Riedel Weber)	10	4
Absorción	1.19%	1% max.
Gravedad específica seco*	2.56	
Gravedad específica saturado con superficie seca*	2.59	
Gravedad específica aparente*	2.67	

**resultados no solicitados por las especificaciones técnicas pero necesarias para la realización del diseño.*

3.1.2.1. Análisis granulométrico ASTM C 136-03

Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución de tamaño de las partículas de agregados finos y gruesos mediante tamizado.

Los resultados se utilizaran para determinar el la distribución de tamaños de las partículas.

Equipo a utilizar

Juego de tamices

Balanza con precisión de 0.1%

Agitador mecánico de tamices

Descripción

Se realiza el muestreo, realizando la técnica de cuarteo manual, se seca la muestra en un horno hasta que el peso sea constante, luego se realiza el tamizado por vía húmeda con el tamiz N° 200, procediendo a secar la muestra en el horno nuevamente hasta que su peso sea constante, para determinar la cantidad de fino por lavado; tamizando mecánicamente el material, obteniendo con esto la separación de agregado por cada

tamiz, procediendo con el tamizado manual se pesa cada material de cada tamiz para obtener los datos necesarios para realizar la curva granulométrica. El resultado del análisis granulométrico se muestra en la tabla. 3.5.

Tabla 3.5. Granulometría de arena triturada

MALLA		% QUE PASA
Número	Mm	Arena triturada
3/8"	9.5	100.0
N° 4	4.76	95.9
N° 8	2.38	71.7
N° 16	1.19	50.0
N° 30	0.595	34.4
N° 50	0.297	23.6
N° 200	0.074	11.3

3.1.2.2. Equivalente de arena AASHTO T 176, ASTM D 2419.

El equivalente de arena es la relación entre la altura de la arena a la altura del barro por 100. Este método asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura, y el carácter de material arcilloso presente en la muestra, limita la cantidad admisible de finos arcillosos presentes en la muestra de acuerdo a las especificaciones.

Este ensayo está basado en la norma AASHTO T 176 con equivalente en la norma ASTM D 2419.

Equipo a utilizar

Cilindro graduado de plástico

Embudo de boca ancha

Cazuela plana

Reloj de precisión minutos y segundos

Descripción

Un volumen medido de agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculante se vierte en un cilindro de plástico graduado y se agitan para aflojar las capas arcillosas de las partículas de arena en la muestra. Después de un período de sedimentación, se lee la altura del barro floculado y la altura de la arena en el cilindro es determinada (Ver Imagen. 3.11. y Imagen. 3.12.)



Imagen 3.11. Vertido de agregado en probeta



Imagen 3.12. sedimentación de agregado fino

3.1.2.3. Adhesividad (Riedel Weber) NLT 355/93

Este ensayo consiste en someter diferentes porciones de la muestra de árido envuelto en ligante asfáltico a la acción de soluciones de carbonato de sodio de concentración molar creciente.

Se define como índice de adhesividad Riedel-Weber, el número correspondiente a la disolución de concentración menor de las utilizadas que haya producido el de las utilizadas que haya producido el desplazamiento total del ligante que recubre la superficie de las partículas del árido.

Este ensayo está basado en la norma NLT 355/93

Equipo a utilizar

Jugo de tamices

Balanza de precisión de 01%

Estufa

Tubos de ensayo

Descripción

Con las muestras de agregado recubierto con asfalto se preparan once porciones de dicha muestra, se introduce la primer porción de la muestra en el tubo de ensayo, vertiendo en el 6 cm^3 de agua destilada marcando su nivel, colocando e tubo en la llama de gas, hasta una ebullición suave el agua durante 1 minuto, pasado este tiempo se reemplaza e agua evaporada hasta llegar a su nivel inicial, agitando el tubo de ensayo durante diez segundos, se observa el estado calificando su estado de desprendimiento según la norma(ver tabla 3.6), se procede a realizar el mismo procedimiento anterior con las demás porciones de la mezcla pero con la solución de carbonato sódico hasta alcanzar el desplazamiento total del ligante (ver Imagen 3.13).



Imagen 3.13. Prueba de adhesividad

Tabla 3.6. Índice de Riedel-Weber

Solución de Ensayo	Índice de adhesividad Riedel – Weber
Desplazamiento total con: Agua destilada	0
Carbonato sódico.	
M/256	1
M/128	2
M/64	3
M/32	4
M/16	5
M/8	6
M/4	7
M/2	8
M/1	9
Si no hay desplazamiento total con la solución M/1	10

3.1.2.4. Absorción AASHTO T 84, ASTM C 128.

El fin de esta prueba es encontrar la absorción del agregado para determinar el porcentaje óptimo de asfalto que absorberá en el momento de realizar la mezcla asfáltica.

La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuara absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mucho mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso⁵⁴.

Este ensayo está basado en la norma AASHTO T 84 con equivalente en la norma ASTM C 128.

⁵⁴ Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, serie de Manuales N° 22 (ASPHALT INSTITUTE)

Al momento de realizar la prueba de absorción se llevara a cabo la determinación de las gravedades del agregado que son muy importantes para el diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall.

Equipo a utilizar

Balanza de precisión de 0.1%

Picnómetro

Descripción

La obtención de la absorción se realiza teniendo el agregado en la condición saturad superficialmente seca (sss), procediendo a secarlo en el horno hasta que tenga su peso constante; así obtener a cantidad de agua que es capaz de absorber; las gravedades se obtienen llevando la muestra a las condiciones de saturado superficialmente seco, pesando el material en estas condiciones y los distintos accesorios que intervienen para poder obtener las gravedades; teniendo esto se realizan los cálculos en ecuaciones dada por las normas.

3.1.3. REQUISITO DEL LIGANTE ASFÁLTICO

El asfalto utilizado es un AC – 20 RASA (Refinería Petrolera Acajutla S.A. de C.V.) modificado con elastómeros del tipo SBS y wax proporcionado por los laboratorios de ASFALCA S.A. de C.V.

Los resultados obtenidos con las pruebas realizadas al ligante asfáltico así como los requerimientos de las especificaciones técnicas se observan en la Tabla. 3.7

Tabla 3.7. Resumen de características del ligante asfáltico.

Ensayo	Unid.	Resultado		Requisitos	
				Mínimo	Máximo
Penetración a 25 °C	0,1 mm	43		55	70
Punto de ablandamiento – anillo y bola	°C	73		60	
Punto de inflamación	°C	>350		230	
Recuperación elástica a 25 °C	%	46		60	
Temperatura de Mezclado*	°C	Mínimo	máximo		
		175	182		
Temperatura de Compactado*	°C	162	168		

*resultados no solicitados por las especificaciones técnicas pero necesarias para la realización del diseño.

3.1.3.1. Modificación del ligante asfáltico

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad – temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas.

El asfalto a modificar será un asfalto tipo AC-20, con un polímero tipo SBS y un aditivo tipo WAX; se selecciona estos dos aditivos por sus cualidades que le proporcionan al asfalto al ser modificado; el polímero SBS se utiliza para aumentar su recuperación elástica, disminuir la susceptibilidad térmica, aumentar su cohesión y adherencia, la parafina WAX se utiliza para disminuir la temperatura de mezclado y colocación.

Para llegar a los porcentajes adecuados que proporcionarían al asfalto sus cualidades, se realizaron una serie de modificaciones al asfalto con sus respectivas pruebas, dichos resultados y porcentajes se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Cuadro comparativo de ensayos con distintas modificaciones de asfalto AC-20

Modificación de asfalto base AC-20	ENSAYOS			Temperatura			
	Penetración a 25 °C	Punto de ablandamiento – anillo y bola	Recuperación elástica a 25 °C	Mezclado		Compactación	
				Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
5% SBS	41	71°C	62%	-	-	-	-
4.5% SBS	41	66°C	59%	No legible	No legible	181°C	186°C
4% SBS	44	65°C	54%	-	-	-	-
3.5% SBS	47	64°C	46%	182°C	190°C	170°C	174°C
3.5% SBS + 1% WAX	45	71°C	47%	177°C	184°C	165°C	170°C
3.5% SBS + 2% WAX	43	73°C	46%	175°C	182°C	162°C	168°C
Especificación Técnica							
Mínimo	55	60°C	60%				
Máximo	70	-	-				

Equipo a utilizar

Molino Coloidal

Contenedores de aluminio

Inductor de calor (soplete de mano)

Descripción

Se toma la muestra de asfalto almacenado con la ayuda de un soplete manual para poder manejarlo más fácilmente; la cantidad de muestra depende del tamaño del molino por lo que está en manos del operario determinarla; se pesa la muestra para proceder a calcular y preparar la cantidad de aditivos que se le agregara, se calienta la muestra de asfalto en una cocina hasta hacerlo fluido, la muestra se deposita en el molino coloidal dejando que fluya, agregando el aditivo manualmente sin saturarlo, se deja funcionar el molino hasta

que el operario observe que el aditivo este disuelto en su totalidad, se abre la válvula de salida para poder almacenar el asfalto para realizar sus respectivas pruebas(ver Imagen 3.14 y 3.15).



Imagen 3.14. Molino coloidal

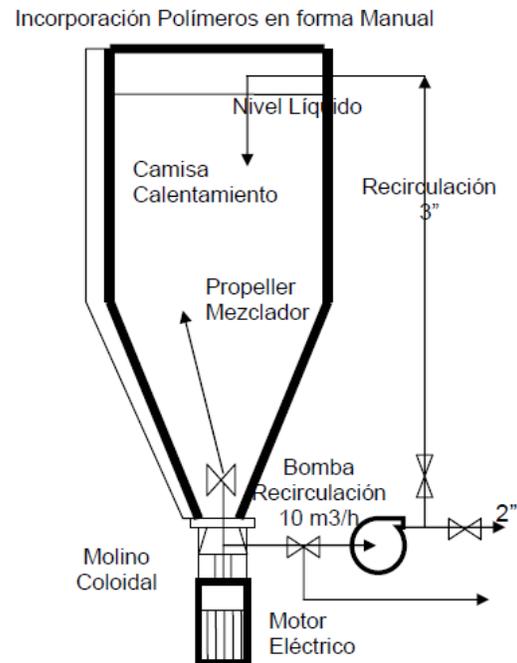


Imagen 3.15. Corte de molino coloidal

3.1.3.2. Reología del asfalto ASTM D 2196.

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, mediante la determinación de la resistencia que ofrece una muestra de prueba a la deformación. La prueba consiste en determinar el par de torsión que es necesario aplicar en un eje rotacional, en el seno de una muestra de prueba colocada dentro de un contenedor, bajo condiciones controladas de temperatura, para que gire a cierta velocidad, la cual utiliza el viscosímetro, para determinar la viscosidad de la muestra.

Esta prueba se utiliza para medir las propiedades del asfalto a altas temperaturas, para determinar las características de mezclado y compactación, asegurando además que no se presente problemas de manejo y bombeo.

El ensayo se realiza con base en la norma ASTM D 2196 y para graficar los resultados la norma ASTM D 2493.

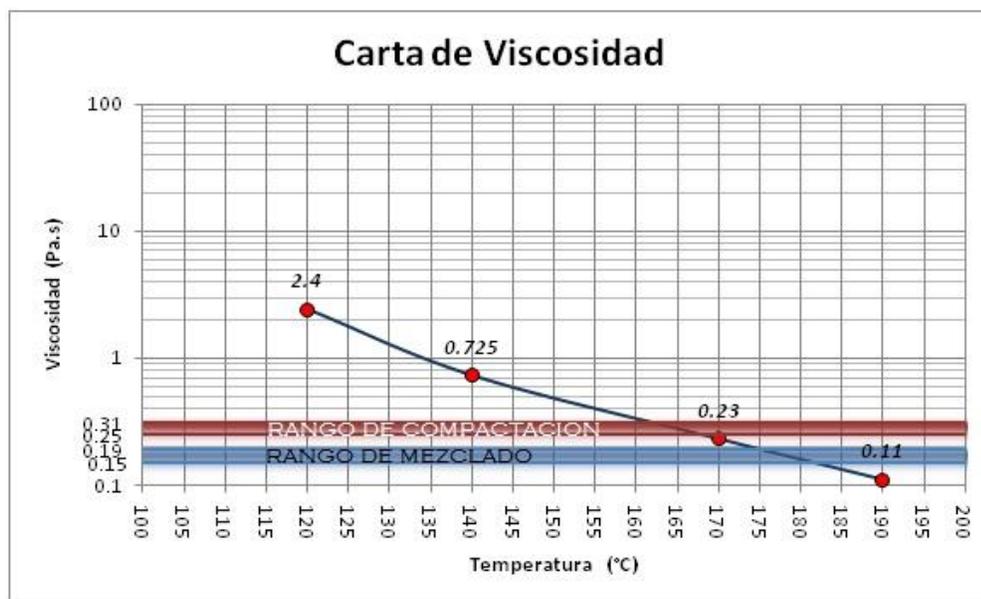
Equipo a utilizar

Viscosímetro de rotación

Contenedores de muestra

Descripción

Teniendo previamente las muestras de asfalto, éstas se colocan en el Viscosímetro Brookfield. Haciendo girar el Viscosímetro a revoluciones que permitan girar libremente el aparato. La toma de lecturas de viscosidades se hará cuando los datos mostrados por el Viscosímetro sean estables, realizando este procedimiento con las muestras faltantes. Posteriormente, los datos obtenidos, será graficados en papel semi-logarítmico (ver gráfica. 3.1) para encontrar la temperatura de mezclado y compactado.



Gráfica 3.1. Carta de viscosidad del asfalto AC-20 modificado con SBS y WAX

3.1.3.3. Penetración a 25 °C AASHTO T 49, ASTM D 5.

La penetración es una medida de la consistencia del asfalto, la cual consiste básicamente en la medición de la penetración de una aguja estándar en una muestra de asfalto a 25°C, bajo la aplicación de una carga de 100 gramos en un periodo de 5 segundos.

La prueba de penetración es usada como una medida de consistencia; Los valores superiores de penetración indican consistencia más suave.

El ensayo se realiza con base en la norma AASHTO T 49 con equivalente en la norma ASTM D 5.

Equipo a utilizar

Aparato de penetración

Aguja de penetración

Contenedor de Muestras

Tanque de agua

Cronometro

termómetro

Descripción

La prueba se realiza con una muestra de asfalto estabiliza a 25°C, sometida a penetración por un penetrómetro durante cinco segundos; los cuales se miden con la ayuda de un cronometro; las penetraciones tienen que cumplir con la norma de estar a una distancia de un centímetro tanto entre ellas así como del borde, tomando varias lecturas de la penetración de la muestra se obtiene el promedio, con el cuidado de que las lecturas no deben de variar mucho entre ellas (ver Imagen 3.16 y Imagen 3.17).



Imagen 3.16. Penetrómetro



Imagen 3.17. Estabilización de muestra

3.1.3.4. Punto de ablandamiento – anillo y bola AASHTO T 53, ASTM D 36.

Este ensayo determina el punto de ablandamiento del asfalto utilizando el aparato anillo y bola en agua que se encuentra en el rango de 30°C a 80°C.

El ensayo se realiza con base en la norma AASHTO T 53 con equivalente en la norma ASTM D 36, en la cual se indica que el punto de ablandamiento es un índice de la tendencia del material a fluir a elevadas temperaturas a experimentar en servicio.

Equipo a utilizar

Anillos para molde de bronce

Par de bolas de acero

Par de guías de bronce

Placa metálica de soporte

Termómetro

Cocina eléctrica

Biker de 500 ml

Descripción

Teniendo la estufa previamente calentada y condicionada para que la temperatura sufra un incremento de 5°C cada minuto, se coloca el recipiente lleno de agua con los dos discos horizontales de betún, emitidos en anillos de bronce al hombro, mientras que cada uno soporta una bola de acero (ver Imagen 3.18). El punto de reblandecimiento se reporta como la media de las temperaturas a las que los dos discos de suavizar lo suficiente como para permitir que cada bola, envuelto en betún, al caer desde una altura de 25 mm (1,0 pulg.) (ver Imagen 3.19). El incremento de temperatura es siempre monitoreado por un termómetro capaz de soportar estas temperaturas, haciendo esto para tener la seguridad que se dé el incremento de 5°C por minuto.

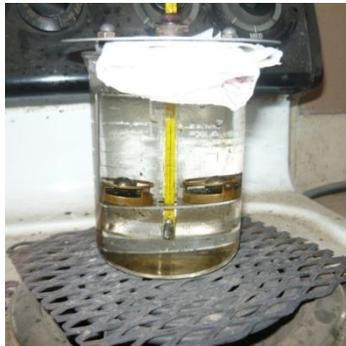


Imagen 3.18. Ensayo de anillo bola



Imagen 3.19. Caída de bolas en punto de ablandamiento

3.1.3.5. Punto de Inflamación AASHTO T 79, ASTM D 3143.

El ensayo se realiza para determinar la temperatura máxima a la cual puede manejarse y almacenarse el asfalto, sin peligro de que se inflame.

El ensayo se realiza con base en la Norma AASHTO T 79 con equivalente en la norma ASTM D 3143.

Equipo a utilizar

Termómetro

Tag de copa abierta Tester

Descripción

Colocando el recipiente de ensayo se procede a ajustar el soporte de termómetro para que se apoye firmemente en posición vertical, aplicar calor para que la temperatura de la muestra aumente según lo estipula la norma. A partir de un punto 13.8 ± 2.8 ° C por debajo del punto de inflamación esperado, hacer el ajuste final del nivel de la muestra en la taza de prueba; pasar el cono de ignición a través de la muestra en un movimiento continuo, de tal manera que el tiempo consumido para cada paso es de 1 s; la temperatura leída en el termómetro en el momento en que la muestra hace un “flash” en el interior de la taza de prueba es la temperatura de inflamación.

3.1.3.6. Recuperación Elástica Torsional a 25 °C NLT 329/91

Se utiliza para determinar la elasticidad que presentan los cementos asfálticos modificados. Este método de prueba es útil para confirmar que el material que ha sido añadido a la muestra tiene las proporciones adecuadas para lograr los requerimientos de las especificaciones con respecto a la elasticidad.

El ensayo se realiza con base en la norma NLT 329/91.

Equipo a utilizar

Aparato de torsión

Cilindros de prueba

Termómetro

Cronometro

Contenedor de agua

Descripción

Para llevar a cabo la prueba se utiliza un cilindro de dimensiones y accesorios especificados, depositando en el cilindro la muestra de asfalto modificado, sumergiendo

el cilindro en un depósito con agua a 25°C durante una hora y media logrando así las condiciones adecuadas para la prueba, transcurrido este tiempo se dispone a aplicar torsión a la muestra hasta lograr un giro de 180°, dejando reposar la muestra durante 30 minutos se determina su recuperación elástica, el cual es presentado como el porcentaje del ángulo recuperado con respecto al ángulo inicial de 180° (Ver Imagen 3.20 y 3.21).



Imagen 3.20. Aplicación de Torsión a la muestra de asfalto modificado.



Imagen 3.21. Cilindros de prueba.

3.2. DISEÑO DE MEZCLA

3.2.1. MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL

METODOLOGÍA

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5”). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 63.5 mm (2 ½”) y 101.6 mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado.

(ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

3.2.1.1 PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS

3.2.1.1.1 Selección del Agregado mineral

El material pétreo que se utilizó para la elaboración de la mezcla asfáltica proviene de la Cantera San Diego. Ubicada sobre el Km 57+500 de la carretera el Litoral cerca de

playa San Diego, municipio de La Libertad, departamento de La Libertad, el yacimiento está constituido por roca de composición básica (basalto - andesita basáltica).

3.2.1.1.2 Composición Granulométrica de la Mezcla

La banda granulométrica adoptada en este diseño de mezclas debe cumplir con los límites definidos en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Huso granulométrico para Micropavimento en Caliente

Tamiz		Huso 1		Huso 2		Huso 3		Huso de Trabajo
ASTM	mm	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
3/8"	9.53	90	100	90	100	90	100	5%
N.4	4.76	60	90	60	90	25	40	5%
N.8	2.36	47	67	31	46	20	35	5%
N.16	1.18	38	57	12	31	16	31	5%
N.30	0.6	28	47	9	23	12	23	4%
N.50	0.3	19	38	6	18	11	18	3%
N.200	0.074	5	10	6	10	7	10	2%

Fuente: ASFALCA S.A. de C.V.

El Huso granulométrico a utilizarse para el diseño del micropavimento en caliente será el Huso 2 que produce una mezcla asfáltica continua.

Para ello se combinan arena y grava 3/8" con granulometría antes mostradas en las secciones 3.1.1.1 y 3.1.2.1., ambas provenientes de la Cantera San Diego mediante procesos de trituración de roca. La combinación teórica de estos dos materiales se realizó por porcentajes ponderados, como se detalla a continuación:

Por ejemplo para el Tamiz N° 50 los porcentajes que pasan para la arena y grava 3/8" son 23.61% y 3.98% respectivamente, como se muestra en los Anexos 4 y 9.

Para encontrar el porcentaje que pasa combinado del Tamiz N° 50 usaremos la siguiente fórmula:

$$P = (Pa * PA) + (Pb * PB)$$

$$PA + PB = 100\%$$

Donde:

P = Porcentaje que pasa combinado

Pa, Pb = Porcentaje que pasa en un Tamiz específico de cada material a combinar

PA, PB = Porcentaje a combinar de cada material.

Tenemos:

$$Pa = 3.98\% \quad PA = 45\% \quad (\text{Grava } 3/8'')$$

$$Pb = 23.61\% \quad PB = 55\% \quad (\text{Arena})$$

$$P = (3.98 * 0.45) + (23.61 * 0.55)$$

$$P = 14.8\%$$

Este mismo procedimiento se hace para los demás Tamices a través de una hoja de cálculo. Por medio de estos cálculos se demuestra que para que la combinación granulométrica se encuentre dentro de la banda del Huso 2, es necesario combinar 45% de grava 3/8'' y 55% de arena triturada.

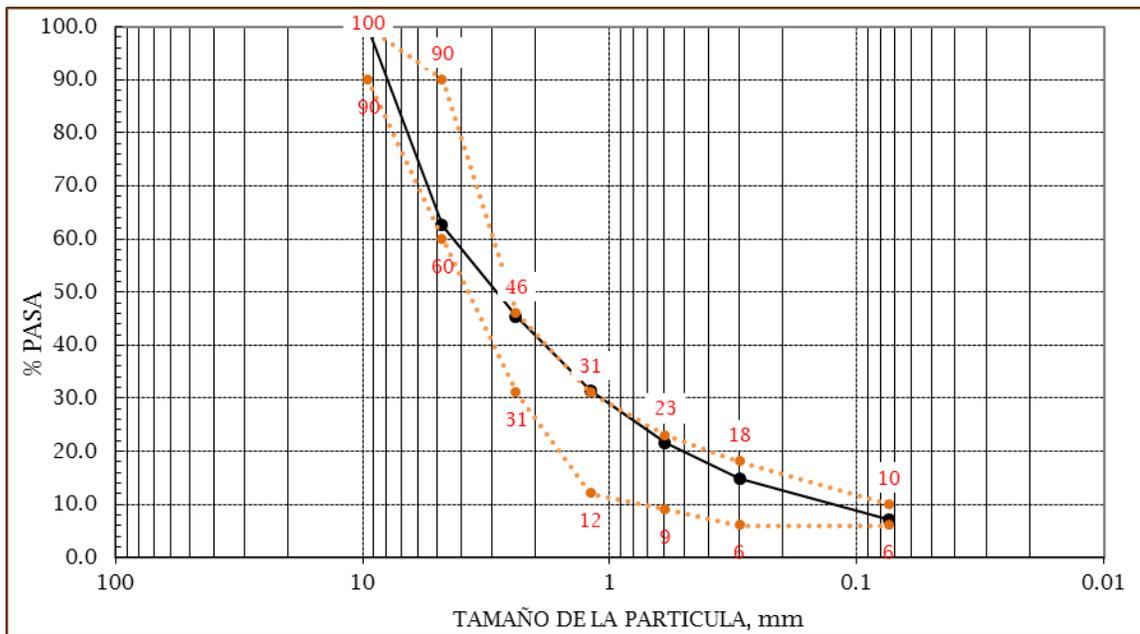
Como una comprobación de esta combinación teórica se realizó la combinación real de estos materiales en estas proporciones, los resultados se encuentran en anexo 14.

En la Tabla 3.10. se muestra la combinación teórica completa de los dos materiales con su respectivo gráfico, también la presentación de este ensayo se muestra en el Anexo 13.

Tabla 3.10. Combinación Teórica de materiales

MALLA		Grava 3/8"	Arena triturada	Porcentaje que pasa Combinado	Especificaciones HUSO 2	
Número	mm				Min	Max
		45.00%	55.00%		100.00%	
3/8"	9.5	99.7	100.00	99.9	90	100
N° 4	4.76	21.59	95.90	62.5	60	90
N° 8	2.38	13.02	71.66	45.3	31	46
N° 16	1.19	8.63	49.97	31.4	12	31
N° 30	0.595	5.73	34.42	21.5	9	23
N° 50	0.297	3.98	23.61	14.8	6	18
N° 200	0.074	1.90	11.29	7.1	6	10
TOTALES		154.5	386.9			

Gráfica 3.2. Combinación Teórica de materiales



3.2.1.1.3 Determinación Teórica del contenido de asfalto

Para la fabricación de briquetas tipo Marshall es necesario primeramente estimar el contenido óptimo de asfalto a través de la siguiente expresión propuesta por el Instituto del Asfalto:

$$P = 0.032a + 0.045b + Kc + n$$

Donde:

P = Porcentaje de asfalto estimado por peso total de la mezcla

a = Porcentaje de material pétreo retenido en el tamiz N° 10

b = Porcentaje de material pétreo que pasa el tamiz N° 10 y se retiene en el tamiz N° 200

c = Porcentaje de material pétreo que pasa el tamiz N° 200

K = Factor que depende del valor “c”, así:

c	K
11 – 15	0.20
6 – 10	0.18
< 5	0.15

n = Varía según el tipo de material pétreo y su absorción, así:

TIPO DE MATERIAL	n
• Gravas o arenas de río de baja absorción (boleos)	0.55
• Gravas angulosas, redondeadas, trituradas de baja absorción	0.60
• Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y roca triturada de absorción media	0.70
• Rocas trituradas de alta absorción	0.80

Los valores a, b y c son obtenidos de la Gráfica 3.2. Combinación Teórica de materiales mencionada en la Sección 3.2.1.1.2.

Considerando el tipo de procedencia de los agregados, así como de sus características físicas y su granulometría, tenemos:

$$a = 100 - (\%pasa N^{\circ}10) = 100 - 40.83 = 59.17$$

$$b = (\%pasa N^{\circ}10) - (\%pasa N^{\circ}200) = 40.83 - 7.07 = 33.76$$

$$c = (\%pasa N^{\circ}200) = 7.07$$

$$k = 0.18$$

$$n = 0.60$$

Sustituyendo en la fórmula, tenemos:

$$P = 0.032(59.17) + 0.045(33.76) + (0.18)(7.07) + 0.6$$

$$\underline{P = 5.3\%}$$

El contenido de asfalto entre las diferentes bachadas (cinco bachadas) deberá variar en un valor de 0.5%, lo que en nuestra dosificación de contenido de asfalto quede de la siguiente manera:

$$\underline{4.3\%, 4.8\%, 5.3\%, 5.8\%, 6.3\%}$$

3.2.1.1.4. Preparación y fabricación de briquetas tipo Marshall.

Las briquetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto determinadas en el apartado anterior.

El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.

Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados Marshall, como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla. Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación (Ver Imagen 3.22). El número de golpes del martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada (Tabla 3.11). Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Para nuestro diseño se optó para tránsito pesado con un número de golpes por cara de 75.

Después de completar la compactación las briquetas son enfriadas y extraídas de los moldes, para realizarles las respectivas pruebas a las mezclas que a continuación se detallarán.



Imagen 3.22. Martillo Marshall de compactación

Tabla 3.11. Criterios para el diseño Marshall

Criterios para Mezcla del Método Marshall	Tránsito liviano Carpeta y Base		Tránsito Mediano Carpeta y Base		Tránsito Pesado Carpeta y Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactación, número de golpes en cada cara de la Probeta	35		50		75	
Estabilidad, N (Lb.)	3336 (750)	-	5338 (1200)	-	8006 (1800)	-
Fluencia, 0.25 mm (0.01 pulg.)	8	18	8	16	8	14
Porcentajes de Vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentajes de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	Ver tabla N° 2.9					
Porcentajes de Vacíos llenos de Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

Fuente: Serie de Manuales N° 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Figuras 3.19 Pág. 82

3.2.1.1.5. Gravedad específica de la combinación de los agregados

La gravedad específica de la combinación de los agregados determinada anteriormente, se realiza a través de la siguiente fórmula:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \dots + \frac{P_n}{100G_n}}$$

Donde:

G = Gravedad específica Bulk de la combinación de los agregados

G₁, G₂, G_n = Gravedades específicas de cada fracción de tamaño ensayada

P_1, P_2, P_n = Porcentaje de cada fracción presente en la muestra original.

Sustituyendo los resultados de las gravedades específicas de los agregados encontradas anteriormente, tenemos:

GRAVA 3/8"		ARENA		COMBINACIÓN
P1	G1	P2	G2	G
45 %	2.532	55 %	2.556	2.545

3.2.1.1.6. Gravedad Específica Bulk de especímenes compactados ASTM-D2726

Se determina, registrando los siguientes pesos de las briquetas compactadas (*Imagen 3.23*). La expresión utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$GSb = \frac{A}{B - C} * K$$

$$K = \text{Factor de corrección por temperatura} = \frac{P.E.(agua a Tx)}{P.E.(agua a Ti)}$$

P.E. (agua a Tx): Peso específico del agua a la temperatura de ensayo

P.E. (agua a Ti): Peso específico del agua a la temperatura base de ensayo

Donde:

A = Peso seco de la biqueta al aire, g.

B = Peso saturado superficialmente seca del espécimen

C = Peso sumergido del espécimen, g.

Esta gravedad específica, es la masa por unidad de volumen de la mezcla compactada, este también es conocido como el peso específico total de la mezcla, el peso específico de cada probeta se determina tan pronto las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente, lo ideal es dejar las probetas, mínimo 24 horas, al ambiente, para que estén totalmente frías.

Los resultados obtenidos en el laboratorio se detallan en la tabla 3.12. realizando 3 de cada contenido de asfalto y 2 para comprobación del que podría ser el óptimo.

Tabla 3.12. Gravedad Específica Bulk (Gsb) de briquetas de diseño Marshall

N°	Asf. % peso Pétreos	Peso del espécimen (gr)			Temp. agua de ensayo °C	Factor de corrección K	Gravedad específica Bulk Gsb
		Seco en el aire	Sumergido en agua	SSS en el aire			
1A	4.3%	1134.9	632.7	1144.9	25	1.000000	2.216
1B		1104.6	616.3	1115.2	25	1.000000	2.214
1C		1135.1	629.0	1143.6	25	1.000000	2.206
Promedio							2.212
2A	4.8%	1127.5	627.8	1135.0	25	1.000000	2.223
2B		1136.8	634.0	1144.1	26	0.999738	2.228
2C		1134.6	627.7	1143.2	26	0.999738	2.200
Promedio							2.217
3A	5.3%	1135.1	634.8	1139.3	25	1.000000	2.250
3B		1131.3	629.4	1135.8	25	1.000000	2.234
3C		1136.8	631.5	1142.7	25	1.000000	2.224
Promedio							2.236
4A	5.8%	1133.6	632.2	1135.4	25	1.000000	2.253
4B		1126.6	629.0	1128.7	25	1.000000	2.255
4C		1133.3	630.9	1137.2	25	1.000000	2.238
Promedio							2.254
5A	6.3%	1129.0	631.5	1130.0	26	0.999738	2.264
5B		1137.9	639.2	1138.5	26	0.999738	2.278
5C		1142.3	640.0	1143.1	25	1.000000	2.271
Promedio							2.271
7A	5.8%	1137.8	634.5	1138.8	25	1.000000	2.256
7B		1138.2	636.7	1139.0	25	1.000000	2.266
Promedio							2.256



Imagen 3.23. Peso saturado superficialmente seca del espécimen

3.2.1.1.7. Gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica (ASTM D2041)

En el diseño de una mezcla asfáltica para un agregado dado, se necesitará la gravedad específica teórica máxima, G_{mm} , para cada contenido de asfalto con el fin de calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.

Descripción

Primeramente se calibra el frasco para determinar exactamente el peso del agua a 25°C que pueda llenarlo hasta una marca de aforo (ver Imagen 3.24.).

Desmenuzar la muestra sin partir las partículas, de manera que la porción del agregado fino no tenga tamaños mayores a $\frac{1}{4}$ “(ver Imagen 3.25), luego se coloca en un recipiente, registrando su peso.

Agregar agua suficiente aproximadamente a 25°C (27°F) para cubrir la muestra, extrayendo el aire atrapado sometiendo todos los contenidos a un vacío parcial de 30 mm de Hg (4 kPa) o menor de presión absoluta, durante un período de 5 a 15 minutos

(ver Imagen 3.26.); añadiendo agua hasta la marca de aforo y se registra este peso. (Ver imagen 3.27.).

La expresión utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde:

G_{mm} = gravedad específica teórica máxima de la mezcla del asfáltica (sin vacíos de aire).

A = Peso seco de la muestra de mezcla suelta

D = Peso del picnómetro + agua (25°C)

E = Peso del picnómetro + agua (25°C) + muestra (25°C)

Los resultados obtenidos en laboratorio para cada briqueta se muestran en la tabla 3.13., donde se detallan los 5 contenidos de asfalto y un sexto de comprobación del que podría ser el óptimo.



Imagen 3.24. Aforo de picnómetro



Imagen 3.25. Mezcla asfáltica suelta



Imagen 3.26. Remoción de aire en mezcla asfáltica

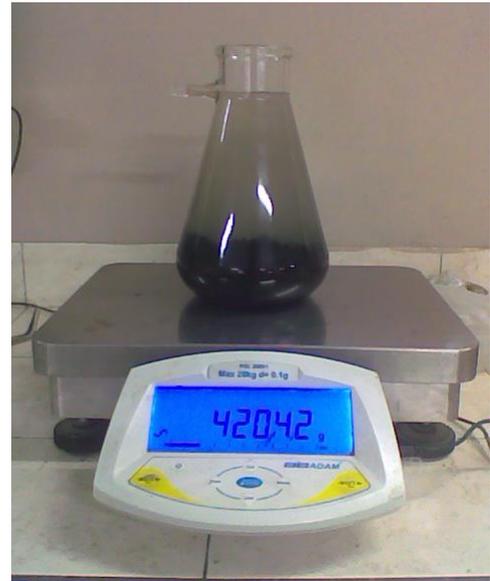


Imagen 3.27. Peso del picnómetro + agua (25°C) + muestra (25°C)

Tabla 3.13. Resultados de Gravedad específica teórica máxima para cada espécimen

N°	Asf. % peso Pétreos	Peso de mezcla suelta (gr)			Gravedad Específica Teórica Máxima Gmm
		Picnómetro + agua(25°C)	mezcla seca	Picnómetro + agua(25°C) + mezcla	
1	4.3%	3541.8	1127.6	4199.3	2.399
2	4.8%	3541.8	1133.7	4199.4	2.381
3	5.3%	3541.8	1148.8	4205.7	2.369
4	5.8%	3541.8	1150.7	4203.3	2.352
5	6.3%	3541.8	1160.3	4205.2	2.335
6	5.8%	3541.8	1154.3	4205.2	2.351

3.2.1.1.8. Prueba de estabilidad y flujo

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y su lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugaciones) y otras señas que indican cambios en la mezcla. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como la forma textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto.

Un grado de fricción y cohesión interna en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras, debido a la fuerza ejercida por el tráfico.

En términos generales entre más angular sea la forma de una partícula de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Después de que la gravedad específica se ha determinado, se procede a la prueba de estabilidad y flujo, que consiste en:

- Sumergir el espécimen en un baño María a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba (ver Imagen. 3.28.), esta temperatura representa, normalmente la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall (Ver Imagen. 3.29.), donde se aplica la carga de prueba al espécimen a una deformación constante de 51 mm (5”) por minuto, hasta la falla.
- Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de estabilidad Marshall. (ver Imagen 3.30).

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo cuando la carga es aplicada lentamente los cabezales superior e inferior del aparato se acercan y la carga sobre la briqueta aumenta.



Imagen 3.28. Baño maría a 60°C (140°F)



Imagen 3.29. Aparato Marshall - medidor de estabilidad y fluencia



Imagen 3.30. Briquetas después de ensayo estabilidad y fluencia

Los valores de estabilidad medidos para especímenes con espesores distintos al considerado como estándar, 63.5 mm (2 ½ “), deberán ser convertidos a valores equivalentes al estándar, mediante el uso de un factor de correlación, esto es multiplicando el valor de estabilidad por dicho factor. Estos factores de correlación son dados en la tabla 3.14., en donde la conversión puede ser hecha en base al volumen o espesor de cada espécimen. (Ver Imagen 3.31.)



Imagen 3.31. Registro de dimensiones de briquetas

Tabla 3.14. Factores de correlación de la estabilidad Marshall

Volumen (cm ³)	Espesor (cm)	Factor de correlación
200-213	25.4	5.56
214-225	27.0	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	36.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	39.7	2.50
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.4	1.92
368-379	46.0	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54.0	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.96
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.8	0.86
574-585	71.4	0.83
586-598	73.0	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

Fuente: ASTM 1559 Marshall Stability And Flow Of Bituminous Mix

Los resultados de la estabilidad y flujo obtenidos en el laboratorio se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3.15. Valores de estabilidad y fluencia obtenidos en el laboratorio.

N°	Asf. % peso Pétreos	Prom. Espesor	Prom. Diámetro	Volúmen cm3	Estabilidad Marshall				Fluencia Marshall	
					Medida Libras	Factor de correlación	Correg. Libras	Correg. Kg	Pulg.	mm
1A	4.3%	65.13	101.55	527.54	4015	0.96	3854.40	1748.33	0.118	2.997
1B		63.75	101.85	519.39	4524	1.00	4524.00	2052.05	0.106	2.692
1C		65.08	101.67	528.34	4835	0.96	4641.60	2105.39	0.117	2.972
Promedio					4458		4340.00	1968.59	0.114	2.887
2A	4.8%	64.18	101.65	520.87	4007	1.00	4007.00	1817.55	0.136	3.454
2B		64.82	101.72	526.70	4274	0.96	4103.04	1861.11	0.099	2.515
2C		65.48	101.77	532.64	3863	0.96	3708.48	1682.14	0.127	3.226
Promedio					4048		3939.51	1786.93	0.121	3.065
3A	5.3%	63.72	101.73	517.93	4000	1.00	4000.00	1814.37	0.148	3.759
3B		64.12	101.73	521.18	3215	1.00	3215.00	1458.30	0.153	3.886
3C		63.87	102.25	524.43	3266	0.96	3135.36	1422.18	0.146	3.708
Promedio					3493.67		3450.12	1564.95	0.149	3.785
4A	5.8%	62.90	102.28	516.83	3250	1.00	3250.00	1474.18	0.154	3.912
4B		63.28	101.73	514.41	3361	1.00	3361.00	1524.52	0.147	3.734
4C		64.07	101.72	520.60	3744	1.00	3744.00	1698.25	0.151	3.835
Promedio					3451.67		3451.67	1565.65	0.151	3.827
5A	6.3%	62.78	101.77	510.68	3550	1.00	3550.00	1610.25	0.163	4.128
5B		62.03	102.28	509.71	3689	1.00	3689.00	1673.30	0.143	3.632
5C		63.37	101.77	515.42	3640	1.00	3640.00	1651.08	0.182	4.623
Promedio					3626.33		3626.33	1644.88	0.163	4.128
7A	5.8%	62.92	102.28	516.97	3978	1.00	3978.00	1804.39	0.129	3.277
7B		63.28	101.73	514.41	4088	1.00	4088.00	1854.29	0.156	3.962
Promedio					4033.00		3978.00	1804.39	0.129	3.277
LÍMITES		MÍNIMO					1543.24	700	0.098	2.5
		MÁXIMO							0.177	4.5

3.2.1.1.9. Porcentaje de vacíos de aire

Los vacíos de aire, V_a , en la mezcla asfáltica compactada consiste en los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado. El porcentaje del volumen de vacíos de aire en una mezcla compactada, puede determinarse usando:

$$V_a = \frac{G_{mm} - G_{sb}}{G_{mm}} \times 100$$

Donde:

V_a = vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total

G_{mm} = gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica

G_{sb} = gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada.

Retomando los resultados de las Gravedades específicas Bulk y los datos de la gravedad específica teórica máxima, tenemos los siguientes resultados mostrados en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Resultados obtenidos de porcentajes de vacíos para cada contenido de asfalto

N°	Asf. % peso Pétreos	Gsb	Gmm	% Vacios
1	4.3%	2.212	2.399	7.79%
2	4.8%	2.217	2.381	6.89%
3	5.3%	2.236	2.369	5.62%
4	5.8%	2.254	2.352	4.19%
5	6.3%	2.271	2.335	2.74%
6	5.8%	2.256	2.351	4.05%

3.2.1.1.10. Vacíos en el agregado mineral (VMA)

El VMA son los espacios de aire que existen de entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de

pavimentación. Es decir el VMA es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla.

El volumen efectivo de asfalto es todo el volumen de asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado. Si el VMA es mayor, existirá más espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre más sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla. Por lo anteriormente descrito existen valores mínimos de VMA recomendados y especificados en función del tamaño del agregado, mostrados en la tabla 3.17.

Tabla 3.17. Requisitos de VMA

Tamiz	VMA Mínimo
3/8 “	16.2
N°4	18.3

Fuente: ASFALCA S.A. de C.V.

Puede resultar que para economizar el contenido de asfalto en un diseño de mezcla disminuyamos los valores de VMA establecidos como mínimos, siendo esto completamente perjudicial y dañino para la calidad de la carpeta asfáltica, obteniendo películas delegadas de asfalto en el agregado y una mezcla de baja durabilidad y apariencia seca.

El VMA puede calcularse sobre la base de la gravedad específica neta del agregado, y expresarse como un porcentaje del volumen mezcla asfáltica compactada. Por tanto, el VMA puede estimarse restando el volumen del agregado determinado por su gravedad específica neta, del volumen neto de la mezcla asfáltica compactada. Si la composición de la mezcla se determina como el porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica el VMA puede calcularse de la siguiente manera:

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gsb \times Ps}{G} \right)$$

Donde:

VMA = vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto)

Gsb = Gravedad específica Bulk de especímenes compactados

Ps = Porcentaje de agregados en la mezcla (Ps = 100 - %A)

G = Gravedad específica Bulk de la combinación de agregados

En la tabla 3.18. se muestran los Vacíos en el Agregado Mineral (VMA) para cada contenido de asfalto y uno como comprobación del posible contenido óptimo de asfalto.

Tabla 3.18. Resultados de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

N°	Asf. % peso Pétreos	Peso (gr)			% Pétreos en mezcla	G	Gsb	VMA
		Pétreos	asfalto	Mezcla				
1	4.3%	1100	47.30	1147.30	95.88%	2.545	2.212	16.68%
2	4.8%	1100	52.80	1152.80	95.42%	2.545	2.217	16.88%
3	5.3%	1100	58.30	1158.30	94.97%	2.545	2.236	16.58%
4	5.8%	1100	63.80	1163.80	94.52%	2.545	2.254	16.31%
5	6.3%	1100	69.30	1169.30	94.07%	2.545	2.271	16.06%
6	5.8%	1100	63.80	1163.80	94.52%	2.545	2.256	16.22%

3.2.1.1.11. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)

El porcentaje de los vacíos en el agregado mineral que son llenados por el asfalto, VFA, no incluyendo el asfalto absorbido, se determina usando:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - V_a}{VMA}$$

Donde:

VFA = vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA

VMA = vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total

Va = vacíos de aire en mezclas compactadas, porcentaje del volumen total

Los resultados obtenidos a partir del VMA y los vacíos en los especímenes compactados para cada contenido de asfalto y uno con 5.8% de asfalto para comprobación del posible contenido óptimo, se muestran en la tabla 3.19.

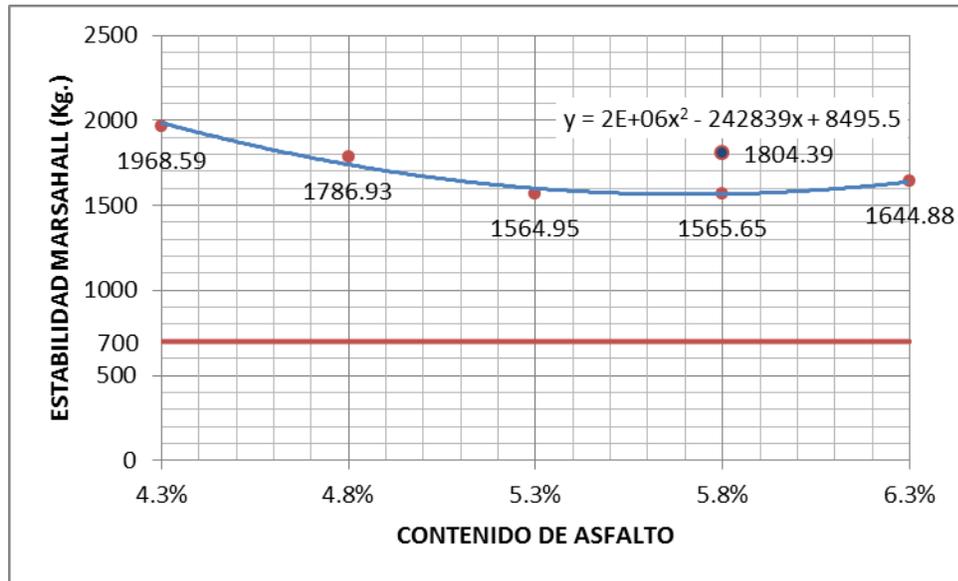
Tabla 3.19. Resultados de Vacíos llenos de asfalto (VFA)

N°	Asf. % peso Pétreos	VMA	% Vacíos	VFA
1	4.3%	16.68%	7.79%	53.3%
2	4.8%	16.88%	6.89%	59.2%
3	5.3%	16.58%	5.62%	66.1%
4	5.8%	16.31%	4.19%	74.3%
5	6.3%	16.06%	2.74%	82.9%
6	5.8%	16.22%	4.05%	75.0%

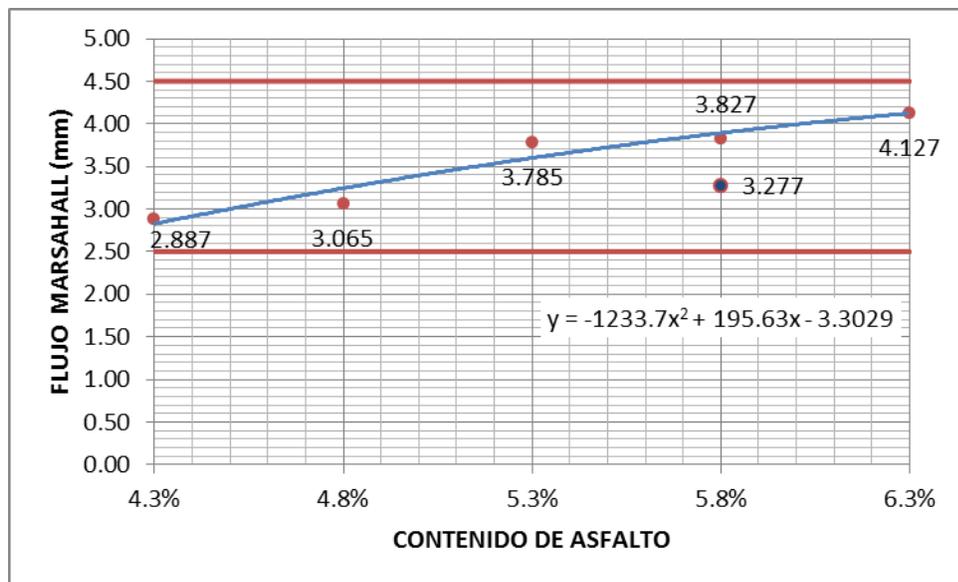
3.2.1.2. ANÁLISIS MARSHALL

Para una mejor apreciación de los resultados obtenidos por este método Marshall a continuación se presentan los gráficos de cada parámetro del método y al final se presenta un cuadro resumen de todos los datos del método Marshall.

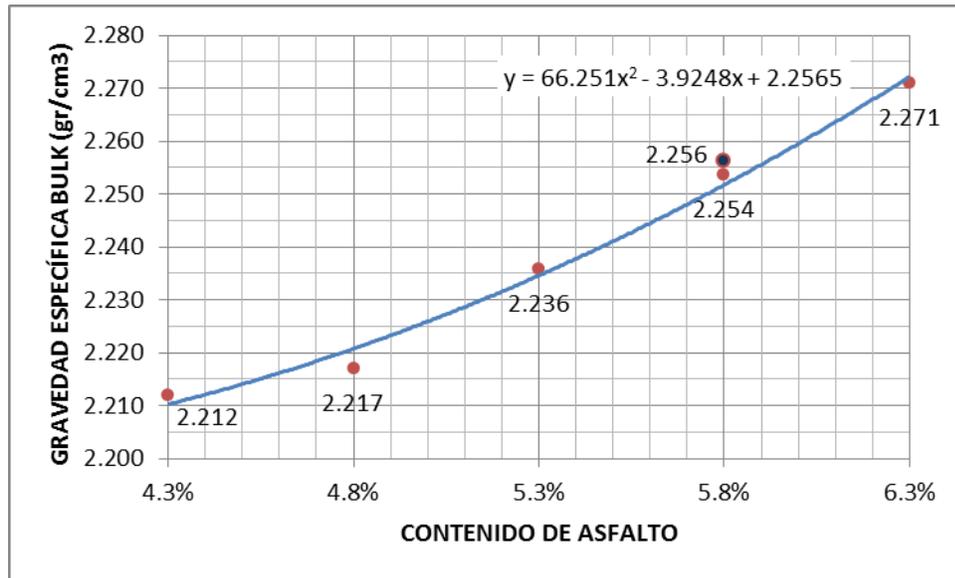
Gráfica 3.3. Estabilidad vs Contenido de asfalto



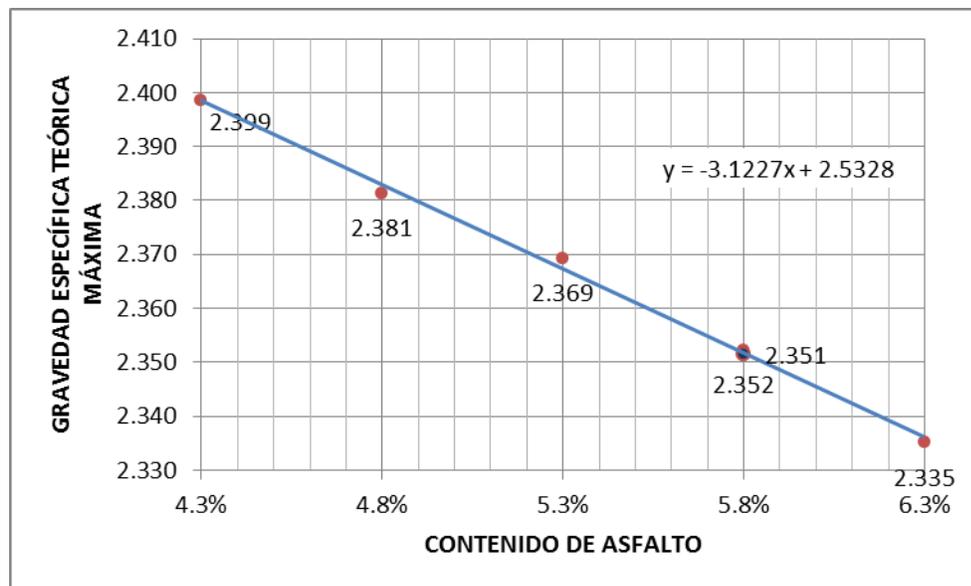
Gráfica 3.4. Fluencia vs Contenido de asfalto



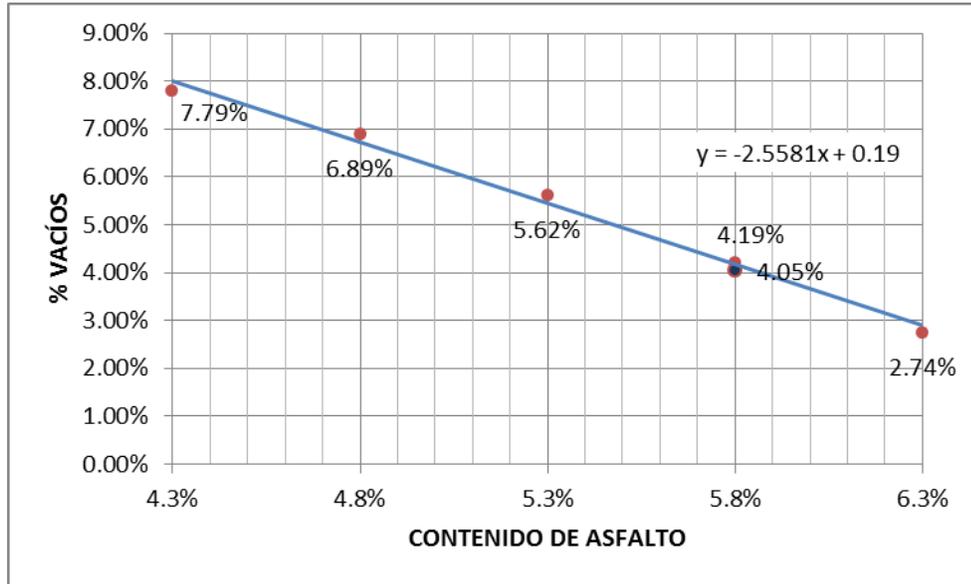
Gráfica 3.5. Gravedad Específica Bulk vs Contenido de asfalto



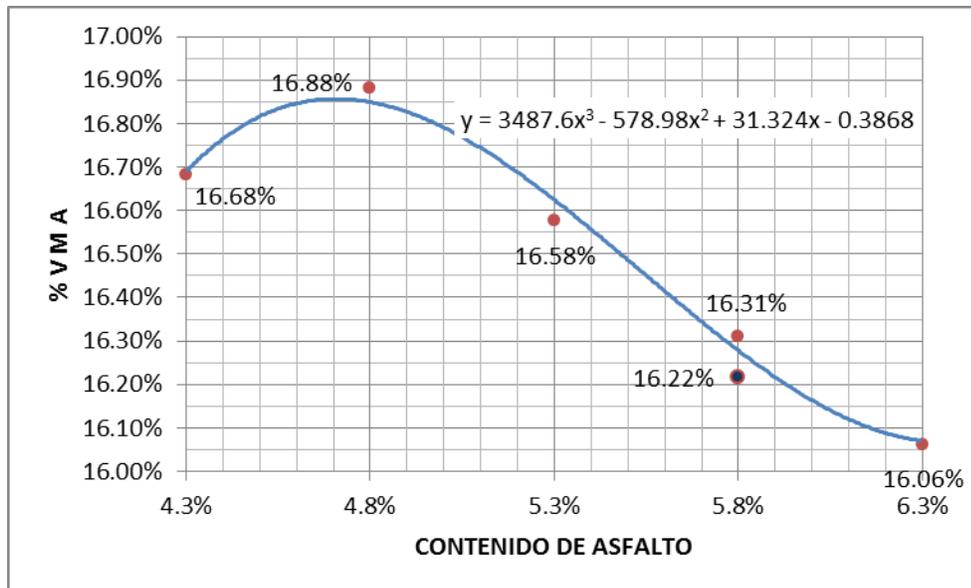
Gráfica 3.6. Gravedad Específica Teórica Máxima vs Contenido de asfalto



Gráfica 3.7. % Vacíos vs Contenido de asfalto



Gráfica 3.8. Vacíos en el agregado mineral vs Contenido de asfalto



Gráfica 3.9. Vacíos llenos de asfalto vs Contenido de asfalto

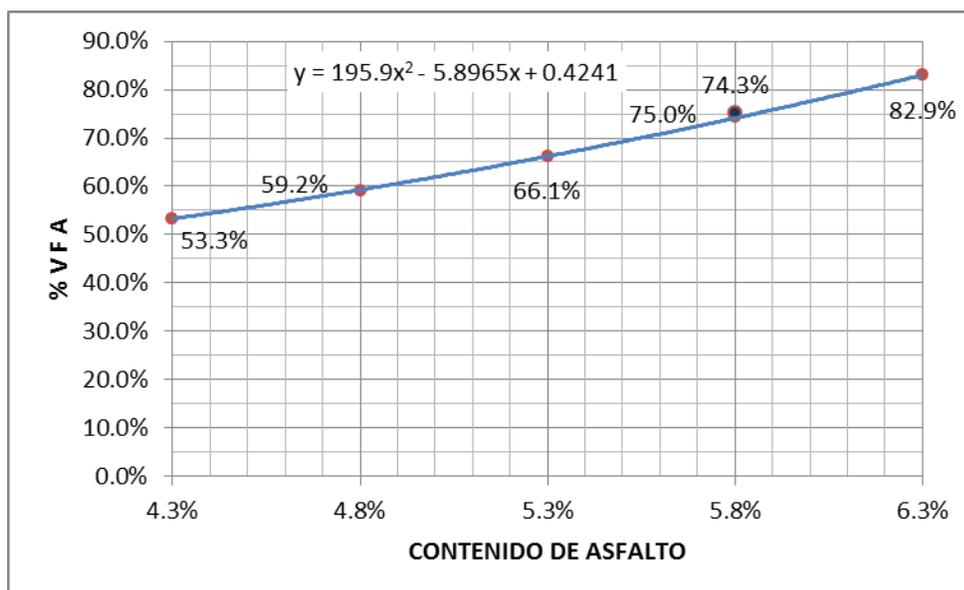


Tabla 3.20. Resumen de Resultados Marshall

N°	Asf. % peso Pétreos	Estabilidad		Fluencia Marshall		Gbs	Gmm	% Vacíos	VMA	VFA
		Libras	Kg	Pulg.	mm					
1	4.3%	4340.00	1968.59	0.114	2.887	2.212	2.399	7.79%	16.68%	53.32%
2	4.8%	3939.51	1786.93	0.121	3.065	2.217	2.381	6.89%	16.88%	59.18%
3	5.3%	3450.12	1564.95	0.149	3.785	2.236	2.369	5.62%	16.58%	66.07%
4	5.8%	3451.67	1565.65	0.151	3.827	2.254	2.352	4.19%	16.31%	74.3%
5	6.3%	3626.33	1644.88	0.163	4.128	2.271	2.335	2.74%	16.06%	82.9%
6	5.8%	3978.00	1804.39	0.129	3.277	2.256	2.351	4.05%	16.22%	75.0%

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DEL MÉTODO MARSHALL

- Los valores de flujo aumentan con los incrementos en el contenido de asfalto.
- El % de vacíos de aire en la mezcla total disminuye al incrementar el contenido de asfalto, tendiendo hacia un mínimo.
- El % de vacíos en los agregados minerales disminuye al incrementarse el contenido de asfalto, hasta alcanzar un mínimo a partir del cual comienza a aumentar.
- No se debe exagerar en el tiempo del calentado de la mezcla asfáltica, porque esta se hace quebradiza. Es recomendable calentarla de 3 a 5 minutos.
- Altos porcentajes de asfaltos en la mezcla, producen una reducción en la fricción interna del pavimento.
- Mezclas cerradas con altos valores de estabilidad Marshall y baja susceptibilidad a la humedad, pueden ser indicativos de que la mezcla es susceptible al agrietamiento por fatiga.

Tentativamente el contenido óptimo de asfalto es de 5.8% según el método Marshall pero para que nuestro diseño de microaglomerado en caliente esté completo, es necesario verificar que cumpla con otros parámetros, con este mismo contenido de asfalto, que se detallan a continuación.

3.2.2. Ensayo cantabro de perdida por desgaste NLT-352

Este ensayo permite determinar el valor de la perdida por desgaste de las mezclas bituminosas, empleando la máquina de los ángeles. (Ver Imágenes 3.32 y 3.33).

El ensayo permite valorar empíricamente la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Descripción

El ensayo se lleva a cabo introduciendo una probeta tipo Marshall en el tambor de la máquina de los ángeles (ver Imagen 3.34), sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la velocidad de 3.1 a 3.5 rad/seg (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.

Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %.

P₁ = Masa inicial de la probeta.

P₂ = Masa final de la probeta.

Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas como se muestra en la tabla 3.21.

Tabla 3.21. Resultados de ensayo cántabro de pérdida de desgaste

N°	P1 (grs)	P2 (grs)	P
DI	1143.1	1114.4	2.51%
DII	1144.4	1116.0	2.48%
DIII	1140.9	1116.7	2.12%
PROMEDIO			2.37%



Imagen 3.32. Briquetas antes del ensayo



Imagen 3.33. Briquetas después del ensayo



Imagen 3.34. Tambor de Máquina de los ángeles

3.2.2.1. Ensayo cántabro envejecido

Este ensayo se realiza también según la norma NLT-352, antes descrita, con la diferencia que los especímenes compactados se someten al horno a 60° C por 7 días (168 horas).

Los resultados obtenidos en laboratorio del ensayo cántabro envejecido se muestran en la tabla 3.22.

Tabla 3.22. Resultados de ensayo cántabro envejecido de pérdida de desgaste

N°	P1 (grs)	P2 (grs)	P
C1	1141.1	1098.6	3.72%
C2	1139.5	1098.6	3.59%
C3	1132.7	1086.5	4.08%
PROMEDIO			3.80%

3.2.3. Resistencia a la tracción por compresión diametral (ASTM D-4867, AASHTO T-283)

Resistencia a la tracción – Es una medida de la fuerza necesaria para separar el material.

Descripción

La prueba se realiza mediante la compactación de las muestras a un nivel de vacío de aire de seis a ocho por ciento. El conjunto se divide en dos subgrupos de contenido vacío aproximadamente iguales (ver Imagen 3.35). Un subgrupo se mantiene seco, mientras que el otro subgrupo está parcialmente saturado de agua y la humedad acondicionada (ver Imagen 3.36. y 3.38). La resistencia a la tracción de cada subgrupo se determina por la prueba de división de tensión en el aparato de carga (ver Imagen 3.37). El potencial de daño causado por la humedad se representa por la relación de la resistencia a la tracción por compresión diametral del subgrupo húmedo respecto del subgrupo seco.



Imagen 3.35. Subgrupos con vacíos de aproximadamente 7%



Imagen 3.36. Subgrupo con Saturación a vacío parcial: 5min a una presión de 20 in de Hg, en agua destilada a 25°C



Imagen 3.38. Subgrupos con Acondicionamiento en condición húmeda: Baño María a 60°C (140°F) por 24 hrs



Imagen 3.37. Aparato de carga diametral a 50 mm / min (2 pulgadas / min)

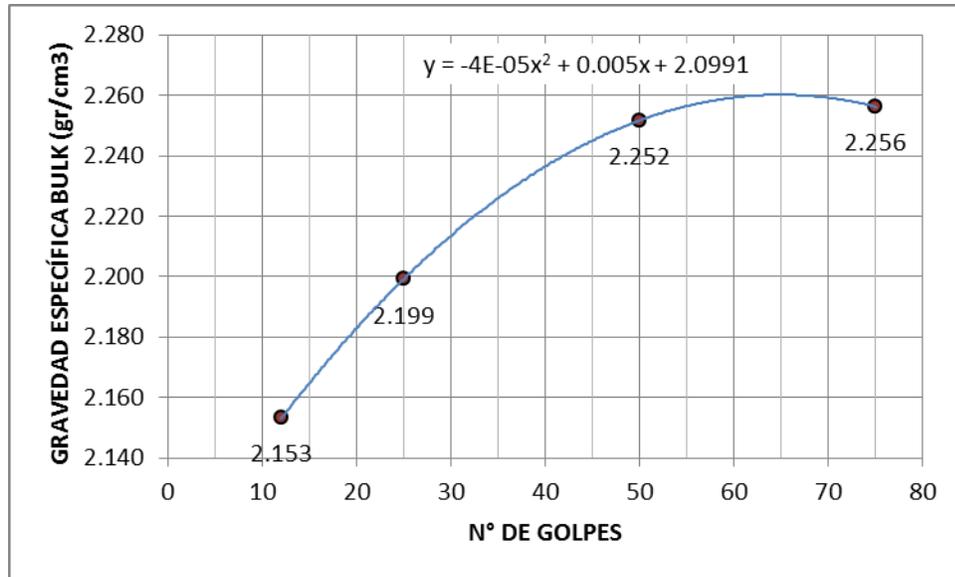
Para lograr el porcentaje de vacíos entre 6% y 8% como lo exige la norma, es necesario determinar el porcentaje de vacíos para briquetas que poseen el mismo contenido de asfalto, pero con distinta energía de compactación o distintos número de golpes como se muestra en la tabla 3.23, para graficarlo y así determinar con cuántos golpes se obtiene el porcentaje de vacíos deseado, un informe más detallado se muestra en el Anexo 18.

En el Gráfica 3.10 muestra cómo va incrementado la gravedad específica y por ende su densidad, conforme se incrementa la energía de compactación. Así mismo en el Gráfica 3.11 se ilustra la determinación del número de golpes necesarios para determinar un porcentaje de vacíos de 7%; se puede observar como decrece el porcentaje de vacíos en el espécimen conforme se va incrementando el número de golpes de compactación.

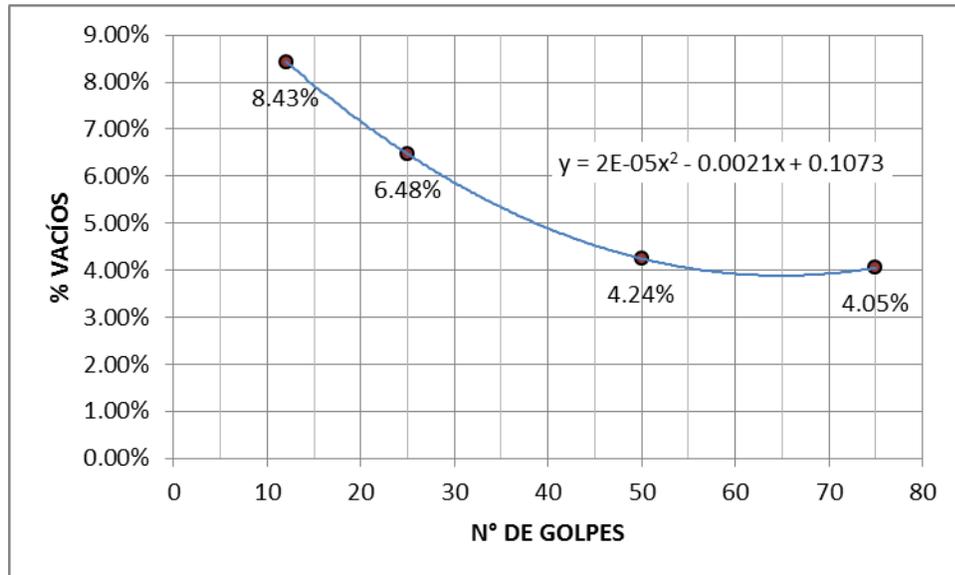
Tabla 3.23. Resultados de laboratorio de porcentaje de vacíos de briquetas compactadas con distintos números de golpes.

N°	N° de golpes por cara	Peso del espécimen (gr)			Gravedad específica Bulk Gsb	% Vacios
		Seco en el aire	Sumergido en agua	SSS en el aire		
A1	12	1126.5	616.4	1140.6	2.149	8.61%
A2		1139.8	624.4	1152.7	2.157	8.25%
Promedio					2.153	8.43%
B1	25	1106.3	610.7	1116.7	2.186	7.02%
B2		1135.8	624.3	1137.8	2.212	5.94%
Promedio					2.199	6.48%
C1	50	1131.3	629.3	1135.0	2.237	4.87%
C2		1138.9	636.8	1139.3	2.266	3.62%
Promedio					2.252	4.24%
D1	75	1137.8	634.5	1138.8	2.256	4.05%
D2		1138.2	636.7	1139.0	2.266	3.64%
Promedio					2.256	4.05%

Gráfica 3.10. Gravedad específica Bulk vs numero de golpes



Gráfica 3.11. Porcentaje de Vacíos vs numero de golpes



Cálculo

Se calcula la resistencia a la tracción con la siguiente expresión:

$$S_t = \frac{2000P}{\pi tD} \quad (kPa)$$

o

$$S_t = \frac{2P}{\pi tD} \quad (psi)$$

Donde:

S_t = resistencia a la tracción, kPa (psi)

P = carga máxima, N (lbf)

t = altura del espécimen inmediatamente antes del ensayo de tracción, mm (pulgadas), y

D = diámetro del espécimen, mm (pulgadas).

Calcular la relación de resistencia a la tracción de la siguiente manera:

$$TSR = \left(\frac{S_{tm}}{S_{td}} \right) * 100$$

Donde:

TSR = relación de resistencia a la tracción, %

S_{tm} = resistencia a la tracción promedio de la humedad subconjunto acondicionado, kPa (psi), y

S_{td} = resistencia a la tracción promedio del subgrupo seco, kPa (psi).

Los resultados de los promedios de Esfuerzo de especímenes en Seco y en Condición Húmeda son de 696.8 kPa y 671.7 kPa respectivamente, lo que nos resulta una Relación de Resistencia a la Tracción (TSR) de 96.4%. Los detalles de este ensayo se muestran en el Anexo 17.

3.2.4. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN DISEÑO

Tabla 3.24. Resultados y requisitos para el ligante asfáltico

Ensayo	Unid.	ASTM	AASHTO	Resultado		Mínimo	Máximo
Penetración a 25 °C	0,1 mm	D 5	T 49	43		55	70
Punto de ablandamiento – anillo y bola	°C	D 36	T 53	73		60	
Punto de inflamación	°C	D 3143	T 79	>350		230	
Recuperación elástica a 25 °C	%	NLT-329/91		46		60	
Temperatura de Mezclado	°C	ASTM D 2196		Mínimo	máximo		
				175	182		
Temperatura de Compactado	°C	ASTM D 2196		162	168		

Tabla 3.25. Resultados y requisitos para el Agregado grueso

Ensayo	ASTM	ASSHTO	Resultados	Requerimiento
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	C 88	T 104	3%	10% máx.
Abrasión Los Ángeles	C 131	T 96	22.70%	40% máx.
Partículas planas y alargadas	D 4791		0.93%	10% máx.
Caras fracturadas	D 5821		93.63%	95/90
Absorción	C 127	T 85	1.18%	1.0% máx.
Adherencia	D 2489	T 195	97%	+ 95% mín.
Gravedad específica bulk	C 127	T 85	2.53	

Tabla 3.26. Resultados y requisitos para el Agregado fino

Ensayo	ASTM	AASHTO	Resultados	Requerimiento
Equivalente de Arena	D 2419	T 176	65%	65% mín
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E-220		10	4 mín
Absorción	C 128	T 84	1.19%	1.0% máx
Gravedad Específica Bulk	C 128	T 84	2.56	

Tabla 3.27. Resultados y requisitos para micropavimento en caliente

Descripción de ensayos	ASTM	AASHTO	Unidad	Resultados	Limite	
					Mínimo	Máximo
Estabilidad Marshall – 75 golpes por cara	D 1559	T 245	Kgf	1804	700	
Fluencia Marshall	D 1559	T 245	mm	3.3	2.5	4.5
Porcentaje de Vacíos – Marshall	D 3203		%	4.05	4	
Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	D 1559	T 245		16.22	16.2	
Desgaste Cántabro	NLT - 352		%	2.37		20
Desgaste Cántabro Envejecido ⁽¹⁾	NLT - 352		%	3.8		30
Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral	D4867	T 283	kPa	696.8	600	
Estabilidad Retenida	D4867	T 283	%	94.6	75	

(1) Envejecimiento de la muestra – 7 días (168 horas) a 60°C

3.2.5. COSTO DE MEZCLA ASFÁLTICA

Teniendo el diseño definitivo de la mezcla asfáltica, podemos realizar el presupuesto de dicha mezcla el cual se detalla en el anexo 20, expresándolo en m³ y m².

Los precios obtenidos fueron: **\$208.52/m³** y **\$4.17/m²**.

3.2.6. ANALISIS GENERAL DE RESULTADOS

En el proceso del asfalto modificado, el asfalto base incide en la penetración del mismo, nuestros resultados en el laboratorio dieron menor que lo que exige las especificaciones, ya que se utilizo un asfalto base AC-20, que en nuestro país debido a las condiciones climáticas es el que más se utiliza y para lograr esas especificaciones se tendrían que usar un asfalto AC-10 o AC-5.

Los resultados del ensayo de penetración nos indican que la mezcla asfáltica tendrá una resistencia mayor a las cargas prolongadas, así como disminuirá el ahuellamiento producidas por estas cargas.

El punto de inflamación según norma ASTM D3143 se logra a una temperatura mayor a los 350 °C, debido al tipo de aditivos utilizados en la modificación del mismo, hacen que el asfalto sea menos inflamable y por seguridad de los equipos utilizados para este ensayo tuvo que suspenderse a esta temperatura.

Según asesoramiento de la empresa ASFALCA (Ing. Carlos Mata Trigueros), en referente a la recuperación elástica, no es necesario alcanzar el porcentaje de recuperación sugerido en las especificaciones, ya que en nuestro país las condiciones climáticas (cálidas) permiten mayor flexibilidad del pavimento haciéndolo menos rígido.

Como los resultados de absorción de los agregados pétreos para nuestro diseño es mayor que lo que sugiere las especificaciones, en nuestro diseño se incrementaría la cantidad de asfalto a usar en el proporcionamiento de la mezcla.

Los demás resultados para la calidad de los materiales, están dentro del rango que establecen las especificaciones proporcionadas por la empresa ASFALCA, así que se puede afirmar que estos materiales son aptos para ser utilizados en el diseño de microaglomerados en caliente.

Los resultados del diseño de la mezcla asfáltica están dentro del rango que establecen las especificaciones proporcionadas por la empresa ASFALCA, así que se puede afirmar que este diseño de microaglomerado en caliente tiene las cualidades necesarias para tomarlos en cuenta para un posible tratamiento superficial para pavimentos asfálticos.

**CAPITULO IV.
CONSTRUCCIÓN,
COLOCACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE UNA
CARPETA ASFÁLTICA
DELGADA**

4.1. EQUIPO

4.1.1. Planta central de mezcla

El microaglomerado en caliente se fabricará en plantas centrales de tipo continuo o discontinuo, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada (ver imagen 4.1).

Las tolvas para agregados en frío deberán tener paredes resistentes, con bocas de anchura suficiente para que la alimentación se pueda realizar correctamente. La separación entre ellas debe garantizar que no se produzcan intercontaminaciones. Además, sus dispositivos de salida deben permitir ajustes exactos para mantenerlos en cualquier posición. El número mínimo de tolvas será función del número de fracciones de agregados por emplear.

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del asfalto deberá permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo, de manera que no se produzcan sobrecalentamientos localizados ni se sobrepasen las temperaturas máximas admisibles de calentamiento del producto. En el calentamiento del asfalto se emplearán, preferentemente, serpentines de aceite o vapor, evitándose en todo caso el contacto del ligante con elementos metálicos que se encuentren a temperatura muy superior a la de almacenamiento. Todas las tuberías, bombas, tanques, etc., deberán estar provistos de dispositivos calefactores o aislamientos. La descarga de retorno del ligante a los tanques de almacenamiento será siempre sumergida. Se dispondrán termómetros en lugares convenientes, para asegurar el control de la temperatura del ligante, especialmente en la boca de salida de éste al mezclador y en la entrada del tanque de almacenamiento. El sistema de circulación deberá estar provisto de dispositivos para tomar muestras y para comprobar la calibración del dispositivo de dosificación.⁵⁵

⁵⁵ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

Para la incorporación de aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos.

Las instalaciones provistas de dispositivos de dosificación por peso en caliente, deberán tener dosificadores ponderales independientes para los agregados, el llenante mineral de aporte y el ligante asfáltico. La exactitud del dosificador de agregados deberá ser superior al medio por ciento ($\pm 0.5\%$). Los dispositivos de dosificación ponderal del llenante y ligante tendrán, como mínimo, una precisión de tres por mil ($\pm 0.3\%$).

El ligante asfáltico se distribuirá uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no permitirán fugas ni goteos. El sistema dosificador del ligante deberá disponer de dispositivos para su calibración a la temperatura y presión de trabajo.⁵⁶

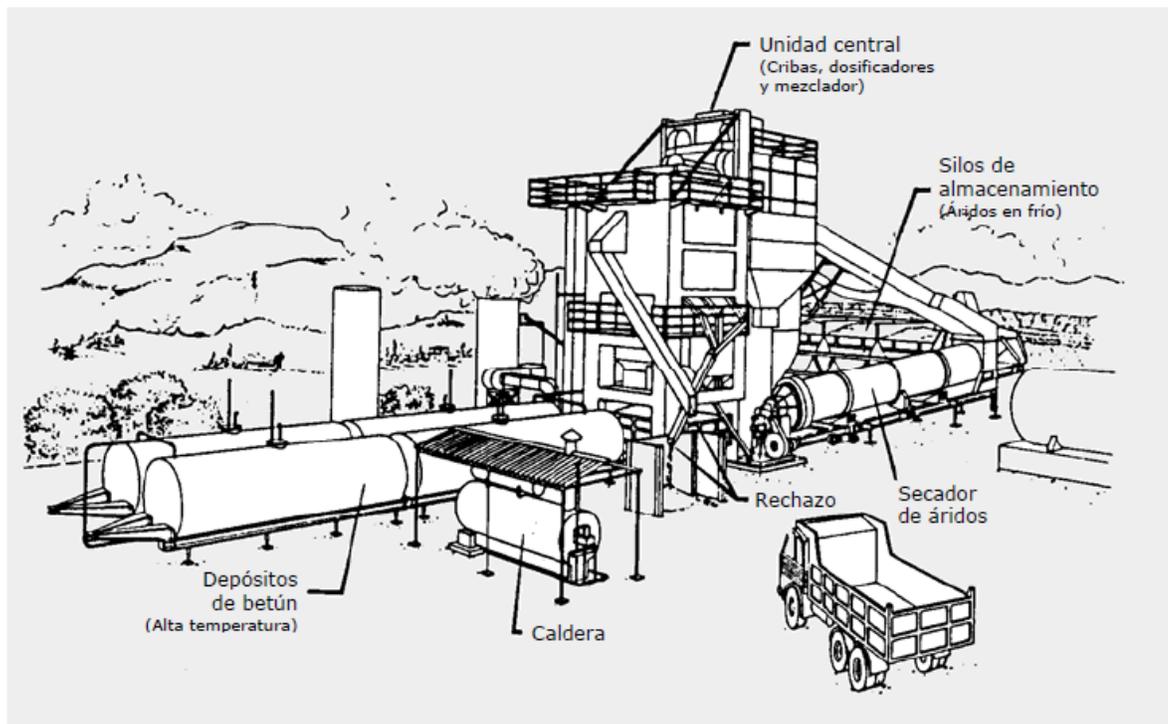


Imagen 4.1. Esquema general de una planta central de fabricación de Mezcla⁵⁷

⁵⁶ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

⁵⁷ Manual de carreteras 2 construcción y mantenimiento, Luis Bañón Blázquez

4.1.2. Equipo de transporte

Tanto los agregados pétreos como los microaglomerados en caliente se transportarán en volquetas de platón liso y estanco, debidamente acondicionadas para tal fin. Cuando vaya a transportar mezcla, la superficie interna del platón deberá ser tratada con el fin de evitar la adherencia de la mezcla a ella, empleando un producto cuya composición y cantidad deberán ser aprobadas por el Supervisor. La forma y altura del platón deberán ser tales, que durante el vertido de la mezcla a la máquina pavimentadora, la volqueta sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos para ello.

Las volquetas deberán estar siempre provistas de una lona o cobertor adecuado, debidamente asegurado, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir derrames y emisiones contaminantes (ver imagen 4.2).⁵⁸



Imagen 4.2. Transporte con su respectiva cubierta

⁵⁸ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

4.1.3. Equipo para la extensión de la mezcla

La extensión y terminación de los microaglomerados en caliente se hará con máquinas pavimentadoras autopropulsadas, adecuadas para extender y terminar la mezcla con un mínimo de compactación, de acuerdo con los anchos y espesores especificados. La capacidad de la tolva así como la potencia de la máquina, deben ser adecuadas para el tipo de trabajo que deban desarrollar (ver imagen 4.3).

La pavimentadora estará equipada con un vibrador y un distribuidor de tornillo sinfín, de tipo reversible, capacitado para colocar la mezcla uniformemente por delante de los enrasadores. Poseerá un equipo de dirección adecuado y tendrá velocidades para retroceder y avanzar. La pavimentadora tendrá dispositivos automáticos de nivelación y un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal. Será ajustable para lograr la sección transversal especificada del espesor de diseño u ordenada por el Supervisor.

Dada la importancia que tiene el riego de liga en la construcción de este tipo de capa de rodadura, es altamente recomendable que la máquina pavimentadora esté provista de un sistema de riego incorporado a ella, a manera de garantizar una aplicación continua y uniforme del mismo.

Si se determina que durante su operación el equipo deja huellas en la superficie de la capa, áreas defectuosas u otras irregularidades objetables que no sean fácilmente corregibles durante la construcción, el Constructor deberá proceder de inmediato a su reparación o cambio.⁵⁹

⁵⁹ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.



Imagen 4.3. Extensión de micropavimento en caliente con maquina pavimentadora⁶⁰

4.1.4. Equipo de compactación

De preferencia, se deberán utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados y sin vibración. Todos los compactadores deberán estar dotados de inversores de marcha suaves, así como de dispositivos para la limpieza de los rodillos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario (ver imagen 4.4).⁶¹

Los rodillos metálicos no deberán presentar surcos ni irregularidades. Las presiones de contacto de los diversos compactadores, serán las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir roturas del agregado ni arrollamientos de la mezcla a la temperatura de compactación.

⁶⁰ Microaglomerado en Caliente Autopista del Itata, S.C. Autopista del Itata S.A., 2008

⁶¹ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

En zonas inaccesibles a los compactadores, se deberán utilizar elementos de características apropiadas para lograr en dichas zonas una compacidad y un terminado superficial semejantes al resto de la obra.⁶²



Imagen 4.4. Rodillo metálico auto propulsado

4.1.5. Equipo accesorio

Estará constituido por los equipos requeridos para realizar todas las operaciones de cargue que necesite la ejecución de esta partida de trabajo, así como elementos para limpieza, preferiblemente barredora o sopladora mecánica, siempre que las autoridades ambientales lo permitan. Además, se requieren herramientas menores para efectuar distribuciones y correcciones manuales localizadas durante la extensión de la mezcla.

⁶² Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

4.2. EJECUCIÓN DE LA OBRA

4.2.1. Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

Antes de iniciar el acopio de los agregados, el Constructor deberá suministrar, para verificación del Supervisor, muestras de los agregados y del ligante asfáltico por emplear y de los eventuales aditivos avalados por los resultados de los ensayos de laboratorio, que garanticen la conveniencia de emplearlos en la mezcla.

Una vez el Supervisor efectúe todas las comprobaciones que considere convenientes y dé su aprobación a los ingredientes, el Constructor definirá una "fórmula de trabajo" que deberá cumplir todas las exigencias establecidas en el presente diseño. En dicha fórmula se consignarán la granulometría de cada uno de los agregados pétreos y las proporciones en que ellos deben mezclarse, para obtener la gradación establecida para el microaglomerado por construir.

Además de las proporciones de mezcla de los agregados, se deberá indicar el porcentaje de ligante bituminoso (aproximado a la décima) en relación con el peso de la mezcla, y los porcentajes de aditivos, respecto del peso del ligante asfáltico, cuando su incorporación resulte necesaria.⁶³

También, deberán señalarse:

- Los tiempos requeridos para la mezcla de los agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el ligante bituminoso.
- Las temperaturas, máxima y mínima, de calentamiento previo de los agregados y el ligante.
- Las temperaturas máximas y mínimas al salir del mezclador, las cuales dependerán del tipo de planta en la cual se elabore la mezcla.

⁶³ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga de los elementos de transporte.
- Las temperaturas mínimas de la mezcla, aceptables al inicio y terminación de la compactación.

La aprobación de la fórmula de trabajo por parte del Supervisor, no exime al Constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida en esta Sección.

4.2.2. Preparación de la superficie existente

El microaglomerado en caliente no se extenderá hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos o definidas por el Supervisor. Todas las irregularidades que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, deberán ser corregidas de acuerdo con lo establecido en ella.

No se permitirá la colocación del microaglomerado en caliente mientras el Supervisor no certifique que la capa sobre la cual se va a colocar es estructuralmente sana y presenta una regularidad superficial aceptable. Las áreas de la superficie existente donde se formen charcos en instantes de lluvia, requieren una capa de mezcla densa de nivelación antes de que se permita la extensión del microaglomerado.

Debido al pequeño espesor en que son puestas en obra los microaglomerados en caliente, ellos resultan propensos a desprendimientos por los esfuerzos tangenciales del tránsito. Por tal razón, la extensión de la mezcla exige la aplicación cuidadosa de un riego previo de liga.⁶⁴

Para garantizar la efectividad del riego de liga, es recomendable que la máquina pavimentadora esté provista de un sistema de riego incorporado a ella. Si no se dispone de dicho equipo, el riego se podrá aplicar con un carrotanque, cuidando que no se

⁶⁴ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

degrade antes de la extensión de la mezcla. En caso que el riego de liga pierda efectividad, el Constructor deberá efectuar un riego adicional, en la cuantía que fije el Supervisor.

Si la superficie sobre la cual se va a colocar el microaglomerado corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que requiere un fresado previo.

4.2.3. Fase de experimentación

Antes de iniciar los trabajos en forma masiva, el Constructor emprenderá una fase de experimentación. Esta fase tiene como propósito hacer las verificaciones y ajustes de los procesos constructivos en un tramo limitado del pavimento del proyecto, de manera que la obra en general se adelante con procesos de comprobada eficacia para las condiciones específicas del proyecto y se minimicen así los riesgos de que aparezcan tramos defectuosos que deban ser rechazados.

Todos los tramos de pavimento de la obra deben cumplir con la totalidad de los requisitos establecidos en las especificaciones generales y particulares, incluyendo el tramo donde se adelante la fase de experimentación. Por lo tanto, este tramo estará sometido a los mismos criterios de aceptación o rechazo.⁶⁵

La fase de experimentación servirá en general para:

- Verificar la calidad de materiales y mezclas
- Verificar los procesos constructivos en todos sus aspectos.
- Verificar la calidad y rendimiento de los equipos, así como la idoneidad de las cuadrillas de trabajo.
- Verificar que los equipos sean capaces de colocar y compactar adecuadamente las diferentes capas del pavimento en los espesores propuestos hasta alcanzar las densidades especificadas, sin degradar los materiales por fuera de las tolerancias admisibles.

⁶⁵ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

- Verificar que las juntas de las capas se realicen correctamente.
- Verificar que la superficie terminada cumpla los requisitos de regularidad establecidos por las especificaciones del proyecto.

Tramo de prueba

El tramo de prueba, cuya longitud será determinada por los documentos de la licitación, podrá ser construido por fuera de la calzada por pavimentar, en lo posible cerca de la obra. También podrá ser parte de la obra, si los documentos de licitación así lo permiten.

En caso de que los resultados de un primer tramo de prueba no sean satisfactorios, se construirán otros tramos de prueba introduciendo variaciones en los equipos, métodos de ejecución o incluso, en las fórmulas de trabajo, hasta obtener un pavimento con las condiciones exigidas.

4.2.4. Fabricación de la mezcla

Los agregados se calentarán antes de su mezcla con el asfalto. El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea.

En las plantas que no sean del tipo tambor secador-mezclador, deberá comprobarse que la unidad clasificadora en caliente proporcione a las tolvas en caliente agregados homogéneos; en caso contrario, se tomarán las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad. Las tolvas en caliente de las plantas continuas deberán mantenerse por encima de su nivel mínimo de calibración, sin rebosar.⁶⁶

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se pesarán o medirán exactamente y se transportarán al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. El volumen de material dentro del mezclador deberá limitarse hasta unos dos tercios de la altura que alcancen las

⁶⁶ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

paletas, de manera que para los tiempos de mezclado establecidos al definir la fórmula de trabajo, se logra una envoltura uniforme y completa.

Si la instalación de fabricación de la mezcla es de tipo continuo, se introducirá en el mezclador al mismo tiempo, la cantidad de asfalto requerida, a la temperatura apropiada, manteniendo la compuerta de salida a la altura que proporcione el tiempo teórico de mezcla especificado. La tolva de descarga se abrirá intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla a la volqueta.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se agregará instantáneamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual deberá encontrarse a la temperatura adecuada, y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

En ningún caso se introducirá en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior en más de quince grados Celsius (15°C) a la temperatura del asfalto. La temperatura de elaboración de la mezcla se fijará dentro del rango recomendado por el fabricante del cemento asfáltico modificado con polímeros.

La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador no será mayor de ciento ochenta grados Celsius (180° C).⁶⁷

4.2.5. Transporte de la mezcla

La mezcla se transportará de la planta central a la obra en volquetas, hasta una hora de día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Sólo se permitirá el trabajo en horas de la noche si el Supervisor considera que existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de una manera tan apropiada como en horas de luz solar.

Durante el transporte de la mezcla, se deberán tomar las precauciones necesarias para que al descargarla sobre la máquina pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la

⁶⁷ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

mínima que se determine como aceptable durante la fase de experimentación o a la que en su ausencia, determine el Supervisor. Dicha temperatura no podrá ser inferior, en ningún caso, a ciento sesenta y dos grados Celsius (162° C).

4.2.6. Extensión de la mezcla

La mezcla se extenderá con máquinas pavimentadoras, de modo que se cumplan los alineamientos, anchos y espesores señalados en los planos o determinados por el Supervisor.

A menos que el Supervisor ordene otra cosa, la extensión se realizará en franjas longitudinales y comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. Siempre que resulte posible, se evitarán las juntas longitudinales realizando la extensión de la mezcla en ancho completo, trabajando si es necesario con dos (2) o más pavimentadoras ligeramente desfasadas. Si por razones prácticas de la obra ello no resulta posible, después de haber extendido y compactado una franja, se extenderá la siguiente mientras el borde de la anterior aún se encuentre caliente y en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se ejecutará una junta longitudinal.

La pavimentadora se regulará de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin segregaciones ni arrastres, y con un espesor tal que, luego de compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los planos. Por ningún motivo se permitirá el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.⁶⁸

La colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas, con el objeto de no tener que corregir la capa extendida (ver imagen 4.5). En caso de trabajo intermitente, se comprobará que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la

⁶⁸ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

pavimentadora no baje de la especificada; de lo contrario, deberá ejecutarse una junta transversal.

En aquellos sitios en los que, a juicio conjunto del Supervisor y del Constructor, no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, el microaglomerado podrá ser extendido con herramientas manuales. La mezcla se descargará fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se distribuirá en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a los planos o instrucciones del Supervisor.

No se permitirá la extensión y compactación del microaglomerado en momentos de lluvia, ni cuando haya fundado temor de que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a ocho grados Celsius (8° C).⁶⁹

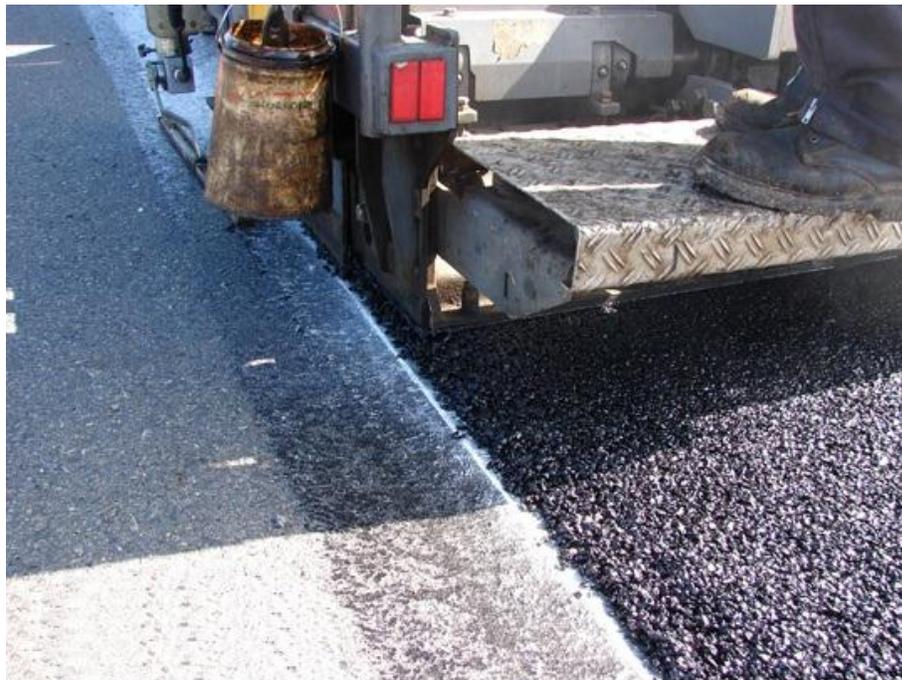


Imagen 4.5. Verificación de cotas previstas

⁶⁹ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

4.2.7. Compactación de la mezcla

La compactación se realizará según el plan aprobado por el Supervisor como resultado de la fase de experimentación. Deberá comenzar, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan desplazamientos indebidos, y se continuará mientras la mezcla esté en condiciones de ser compactada. El número de pasadas del rodillo liso sin vibración nunca será menor de seis.

La compactación se realizará longitudinalmente de manera continua y sistemática. Deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada por el Supervisor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Si la extensión de la mezcla se ha realizado por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos ciento cincuenta milímetros (150 mm) de la anterior.

Los elementos de compactación deberán estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. No se permitirán, sin embargo, excesos de agua.

La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se complementará con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar.⁷⁰

4.2.8. Juntas de trabajo

Si la construcción de juntas longitudinales es inevitable y al extender franjas contiguas la extendida en primer lugar tiene una temperatura inferior a la mínima aceptable para terminar el trabajo de pavimentación, según se haya determinado en la fase de experimentación, el borde de ésta se deberá cortar dejando al descubierto una superficie

⁷⁰ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

plana y vertical en todo su espesor, procediendo a continuación a calentar la junta y extender la siguiente franja contra ella.

Las juntas transversales se compactarán transversalmente, disponiendo los apoyos adecuados para los elementos de compactación. Las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes deberán distanciarse, cuando menos, en cinco metros (5 m).

4.2.9. Control del producto terminado

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Supervisor. La cota de cualquier punto de la mezcla densa compactada en capas de base o rodadura, no deberá variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Se efectuará las siguientes verificaciones:

a) Compactación

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se realizarán en una proporción de cuando menos una (1) por cada doscientos cincuenta metros cuadrados (250 m²) y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar.

La densidad media del tramo (Dm) deberá ser, cuando menos, el noventa y ocho por ciento (98%) de la media obtenida al compactar en el laboratorio con la técnica Marshall, las seis (6) probetas por jornada de trabajo (De) requeridas.⁷¹

$$Dm \geq 0,98 De$$

Además, la densidad de cada testigo individual (Di) deberá ser mayor o igual al noventa y siete por ciento (97%) de la densidad media de los testigos del tramo (Dm).

⁷¹ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

$$D_i \geq 0,97 D_m$$

El incumplimiento de alguno de estos dos requisitos implica el rechazo del tramo por parte del Supervisor.

La toma de muestras testigo se hará de acuerdo con norma AASHTO T 230 y la densidad se determinará por el método indicado en la norma AASHTO T 275, determinándose siempre la correlación entre testigos obtenidos mediante extracción diamantina con los métodos indirectos (densímetro nuclear, etc.).

b) Espesor

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, el Supervisor determinará el espesor medio de la capa compactada (em), el cual no podrá ser inferior al de diseño (ed).

$$em \geq ed$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (ei), deberá ser, mayor o igual al noventa y cinco por ciento (95%) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0,95 ed$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica rechazar el tramo.

c) Regularidad superficial o Rugosidad

La regularidad superficial de la carpeta asfáltica será medida y aprobada por el Supervisor, para lo cual, por cuenta y cargo del contratista, deberá determinarse la rugosidad en unidades IRI.

El objetivo último de la evaluación funcional del pavimento en esta etapa es asegurar una adecuada rugosidad en la superficie de la siguiente capa asfáltica a colocar.⁷²

Para tal efecto, la medición se efectuará en forma continua para cada carril, en las huellas y por sub tramo homogéneo. La frecuencia de lectura de los equipos permitirá

⁷² Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

obtener valores de IRI, a cada 300 m, las mismas distancias con las que se efectuó el estudio, de tal manera que se pueda obtener valores del IRI confiables.

La rugosidad, en términos de IRI característico (IRI_c), tendrá un valor máximo de 2.5 m/km. En el caso de no satisfacer este requerimiento, deberá revisarse los equipos y procedimientos de esparcido y compactado, a fin de tomar las medidas correctivas que conduzcan a un mejoramiento del acabado de la superficie de rodadura.

4.2.10. Apertura al tránsito

Alcanzado el nivel de densidad exigido, el tramo pavimentado podrá abrirse al tránsito tan pronto la capa alcance la temperatura ambiente (ver imagen4.6).⁷³



Imagen 4.6. Apertura al tráfico

⁷³ Sociedad Colombiana de Ingenieros (2005). *Especificaciones IDU-ET-2005 versión 1.0*. Consultado en Agosto, 3, 2011 en www.idu.gov.co.

4.3. MANTENIMIENTO

Para la realización del mantenimiento se debe de tener un seguimiento de la carretera, así como controlar la evolución en el transcurso de su vida útil.

Este seguimiento se llevará desde la apertura al tránsito, realizando mediciones de las características iniciales, así controlar estas características que permiten preservar las condiciones originales del pavimento en forma eficiente.

Los tratamientos a ejecutar en este tipo de mezcla se desarrollan a continuación:

4.3.1. Sello de fisuras y grietas

Descripción

El sello de fisuras y grietas es una actividad de mantenimiento preventivo y se debe realizar cuando éstas se han reflejado claramente en el pavimento, las cuales pueden aparecer longitudinal o transversalmente en la línea de rodadura, con propósito de impermeabilizar las capas que forman la estructura del pavimento, evitando inicialmente la falla tipo piel de cocodrilo y luego la formación de baches.

Esta actividad no podrá ser ejecutada en los siguientes casos: a) En áreas donde las grietas formen bloques interconectados de carácter poliédrico, semejante a la piel de cocodrilo, cuya formación se debe en mayor parte a la fatiga del pavimento que es ocasionada por el sobrepeso en los ejes vehiculares; b) Cuando existan deflexiones en las grietas, lo cual muestra que ya existe un daño en la base; c) Cuando los pavimentos se encuentren excesivamente deteriorados o muestren altas zonas con bacheo menor o mayor. Las fisuras y grietas que deben sellarse no tienen que superar los 12 mm de ancho. Las que sobrepasen esta medida, serán tratadas con el procedimiento adecuado.⁷⁴

Debe verificarse que el pavimento no muestre señales de humedad, las cuales no permitirían la adherencia del material y posterior desprendimiento del mismo.

⁷⁴ SIECA (2010). *Manual Centroamericano de Mantenimiento De Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Guatemala.

Materiales

Los materiales para realizar esta actividad son:

- Materiales bituminosos termoplásticos aplicados en frío
- Asfalto líquido (emulsión)
- Asfalto líquido modificado con polímeros
- Sello asfáltico
- Material secante (arena)

El material bituminoso termoplástico aplicado en frío debe cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones ASTM D-5893.

El asfalto líquido (emulsión) debe cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones AASHTO M 140 para emulsiones asfálticas aniónicas y AASHTO M 208 para emulsiones asfálticas catiónicas.

El asfalto líquido modificado con polímeros debe cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones ASTM D-5078.

La arena será la porción de agregado pétreo seco, de granulometría que pase el tamiz No. 8 (2.36 mm).

El sello asfáltico en caliente debe cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones AASHTO M-173, M-282, ASTM D-1190 ó D-3406

La arena podrá ser utilizada ya sea triturada o natural, los granos serán densos, limpios y duros, libres de terrones de arcilla y de cualquier material que pueda impedir su adhesión con el asfalto.⁷⁵

⁷⁵ SIECA (2010). *Manual Centroamericano de Mantenimiento De Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Guatemala.

Procedimiento de ejecución.

Colocar dispositivos de seguridad transitorios y verificar que todo el personal disponga de la vestimenta obligatoria y en buen estado, y asegurar el control adecuado del tránsito.

a) Identificación de las grietas. Se deberá indicar las zonas de grietas que se deben sellar, procediendo a marcarlas directamente sobre el pavimento con yeso, tiza u otro material de color visible (preferiblemente blanco). Estas marcas indican el inicio y final de cada grieta.

b) Limpieza. Esta limpieza debe hacerse utilizando un chorro de aire a presión, limpio y seco (sin aceite ni humedad), que debe ser generado por un compresor móvil. Tanto el espacio formado por la grieta, como el área adyacente a la misma, debe estar libre de polvo, humedad, arcilla o de cualquier otro material, previo a continuar con la siguiente operación.

c) Aplicación del material sellante. Se debe proceder a aplicar el asfalto tomando en consideración los procedimientos recomendados por el fabricante. Al extender el asfalto sobre la grieta, no debe permitirse la formación de charcos o exceso de material sellante sobre esta, pues pueden causar un leve impacto en la conducción del usuario de la carretera. El equipo que se utilizará debe ser maniobrable, considerando que es un trabajo rápido en la carretera y se debe contar con suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos.

d) Colocación de la capa de arena. Luego de haber aplicado el sello sobre la grieta debe procederse a esparcir una capa delgada de arena fina como secante del sello, para evitar la pérdida del asfalto recién aplicado en la superficie, debido a la adherencia de las ruedas del tránsito circulante. Esta arena debe ser aplicada entre 1 y 3 minutos posteriores a la aplicación del sello.⁷⁶

Retirar dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocadas.

⁷⁶ SIECA (2010). *Manual Centroamericano de Mantenimiento De Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Guatemala.

4.3.2. Bacheo superficial o menor

Descripción

Es la desintegración parcial o total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, con lo que se forma una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

Consiste en la reparación a mano o a máquina de estas áreas de superficie pavimentada, que se realiza con mezcla en frío ó caliente, con un espesor máximo igual a la existente, incluyendo la excavación, extracción y cuadrado del área que debe repararse, y la colocación de mezcla asfáltica. Además, el acarreo del punto de fabricación al lugar de colocación.

Materiales

a) Material de liga

Debe cumplir con lo establecido en la sección 309 del Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras Edición 2010.

b) Mezclas Asfálticas

Para el relleno de los baches podrá usarse la mezcla de microaglomerado en caliente diseñada en este trabajo.⁷⁷

Procedimiento de ejecución

a) Excavación

El área debe ser marcada por el supervisor, debiendo ser dos de sus lados perpendiculares al eje del camino. Los cortes de las paredes deben quedar parejos y verticales. El fondo de la excavación debe nivelarse y debe quedar libre de material suelto. Los trabajos de corte, excavación y transporte podrán ser ejecutados mediante el

⁷⁷ SIECA (2010). *Manual Centroamericano de Mantenimiento De Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Guatemala.

uso de herramienta mecánica o manual. Los baches excavados deben rellenarse el mismo día, no se permite trabajarlos al siguiente día.

b) Aplicación de liga

Será aplicada sobre toda la superficie excavada, libre de material suelto y polvo, aplicándola en toda el área, incluyendo las paredes en proporciones que podrán variar desde 0.3 a 0.6 litros (0.08 a 0.15 galones) por metro cuadrado de superficie, y debe calentarse a una temperatura entre 60 a 80 grados C°. Se debe colocar con cuidado para evitar la formación de charcos. Se debe permitir que el asfalto penetre en la base durante el tiempo necesario según lo indique el supervisor.

c) Transporte de la mezcla

La mezcla debe transportarse al sitio de colocación en vehículos con palangana de volteo limpios de todo material extraño que pueda afectar la mezcla. Las palanganas de los camiones deben ser pintadas o limpiadas con solución de cal o detergente, por lo menos una vez al día o tantas veces como sea necesario; después de esta operación, la palangana del camión debe ser elevada y completamente drenada.

El despacho del vehículo debe programarse de tal manera que el material entregado pueda ser colocado con luz diurna. Debe cubrirse con lona u otro material que evite su contaminación durante el trayecto y que permita conservar su temperatura. La entrega del material a las cuadrillas de colocación, se hará de manera uniforme y en cantidad según la capacidad de los recursos de colocación y compactación asignados al proyecto.⁷⁸

d) Colocación de la mezcla asfáltica

El material se extenderá a mano en una o dos capas de espesor similar, mediante el uso de carretillas de mano y rastrillos extendedores, sin permitir la segregación de los materiales y de acuerdo a los requerimientos establecidos. El nivel del bache terminado

⁷⁸ SIECA (2010). *Manual Centroamericano de Mantenimiento De Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Guatemala.

debe quedar a ras del nivel de la carretera. La colocación de la mezcla asfáltica no debe efectuarse cuando la superficie del bache se encuentre en estado insatisfactorio ó con señales de humedad excesiva. Las áreas de la mezcla asfáltica inaccesibles para el compactador manual, deberán compactarse satisfactoriamente mediante el uso de mazos apisonadores aprobados. La compactación de la mezcla asfáltica deberá comenzar en los bordes y avanzar hacia el centro. La temperatura de colocación y compactación será no menor de 162°C.⁷⁹

⁷⁹ SIECA (2010). *Manual Centroamericano de Mantenimiento De Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Guatemala.

CAPITULO V.
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Debido a que las Carpetas de Bajo Espesor, en este caso los Microaglomerados en Caliente, están conformados por un espesor de carpeta muy delgada, con tamaño máximo de agregado de 3/8", no proporciona un soporte estructural significativo a la carpeta de rodadura.
- Este tipo de carpeta asfáltica, llamada también Carpeta Delgada, en la aplicación a pavimentos asfálticos como mantenimiento superficial, presenta beneficios al usuario de la misma, debido a que incrementa el periodo su vida útil de 7-8 años, otorgándole una nueva superficie de rodamiento, y así colaborando a que las condiciones mecánicas del vehículo sean óptimas.
- Este tipo de microaglomerado en caliente es menos perjudicial con el medio ambiente, por que disminuye la cantidad de agregados pétreos extraídos de los bancos de materiales y optimizando a su vez el uso del ligante asfáltico.
- Al utilizar los aditivos SBS y WAX, el punto de ablandamiento aumenta, garantizando que el asfalto tendrá un buen desempeño trabajando a altas temperaturas.
- Se afirma que el diseño de microaglomerado en caliente tiene las cualidades necesarias para tomarlos en cuenta para un posible tratamiento superficial para pavimentos asfálticos; debido a que los resultados del diseño están dentro del rango que establecen las especificaciones técnicas.
- Para la aplicación de la técnica de microaglomerados en caliente es necesario la modificación del asfalto, ya que por sí solo el asfalto ac-20 no cumple con las propiedades de este tipo de mezcla.

- La tendencia mundial en la construcción de pavimentos asfálticos es de disminuir los espesores para reducir los costos, debido a la economía actual de los altos precios del petróleo.
- El diseño y la fabricación de los microaglomerados continuos en caliente es similar a las mezclas tradicionales, salvo que los materiales necesarios son de mayor calidad, tales como el cemento asfáltico modificado, agregado con mayor porcentaje de chancado, y poseen una textura superficial que proporciona mayor confort y seguridad para el usuario.
- La temperatura va ser un parámetro esencial al momento del transportar la mezcla y al realizar la compactación, porque como se exige espesores pequeños para este tipos de mezclas son mucho más sensible ante variaciones de temperatura.

5.2. RECOMENDACIONES

- Los Microaglomerados en Caliente, por ser una propuesta relativamente nueva, es de suma importancia contar con la maquinaria y personal especializado para la colocación *in situ* de estos pavimentos y para que su funcionamiento a lo largo de su vida útil sea el esperado.
- Realizar un tramo de prueba en un pavimento asfáltico aplicando Microaglomerados en caliente, para observar su comportamiento con las cargas reales de tránsito y a la exposición de las condiciones ambientales del país.
- Recomendamos que al realizar un diseño de una carpeta asfáltica delgada, se tome en cuenta este documento, debido a que El Salvador no posee una normativa específica que se aplique a este tipo de carpetas.
- El gobierno de El Salvador por medio del Ministerio de Obras Públicas, como principal responsable en la construcción de las diferentes carreteras del país, debe de mantenerse actualizado en las nuevas tecnologías de fabricación de pavimentos flexibles.
- Con base en los resultados obtenidos mediante el ensayo de penetración (menor a la esperada), la mezcla asfáltica modificada a bajas temperaturas podría llegar a tener un comportamiento frágil. Por lo tanto inicialmente se recomienda su utilización en climas cálidos y realizar otras investigaciones clima frío.
- Cuando el área tratada con la técnica relleno de fisuras y grietas, sea mayor al 60% del área del tramo de la calzada, se recomienda la restitución del microaglomerado, ya que seguir haciendo uso de esta técnica modificaría las características físicas y mecánicas de la carpeta asfáltica.
- La puesta en obra de microaglomerados en caliente, exige una aplicación cuidadosa de un riego de liga previo, ya que por su pequeño espesor son

propensos a desprendimientos por los esfuerzos tangenciales impuestos por el tránsito.

- Las proporciones y demás aspectos de diseño de la mezcla de microaglomerados en caliente deben cumplirse como establece este documento para que el desempeño sea el esperado.
- El material pétreo que se utilizó en el diseño de microaglomerado en caliente proviene de la Cantera San Diego, municipio de La Libertad, departamento de La Libertad, por lo que los resultados obtenidos son propios de este material, de tal manera que si se quisiera aplicar esta mezcla asfáltica utilizando otro banco de materiales se tiene que verificar la calidad de éstos, los cuales deben ser congruentes con el material utilizado en este documento.

5.3. BIBLIOGRAFÍA

- ASFALCA. (s.f.). *Asfaltos de Centroamérica S.A. de C.V.* Recuperado el 04 de 08 de 2010, de <http://www.asfalca.com/>
- LABORATORIO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS.
- José Avilés Lorenzo (2002). *Estudio de la tenacidad de los microaglomerados reciclados en caliente mediante el ensayo LTD. Efecto del tipo y contenido de betún.* Consultado en Marzo, 21,2011 en <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6270/8/07.pdf>.
- CONSORCIO SULLANA (2003). Micropavimento 20 mm. Consultado en Febrero,02,2010 en http://gis.proviasnac.gob.pe/sullana-aguas_verdes/.
- American Association Of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, 1987, “*Maintenance Manual*”, Washington, D.C.
- Asphalt Institut, 1985, “*Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción: Guía para instructores*”.
- American Society for Testing Materials, ASTM, 2000,
- Alcaldia Mayor de Bogotá D.C. (2006). *Especificaciones Tecnicas Generales de Materiales Construccion para Proyectos de Ifraestructura Via y de Espacio Publico.* Bogotá.
- Avellán Cruz, M. D. (2007). *Asfaltos Modiicados con Poimeros.* Guatemala.
- Bañón Blázquez, L., & Beviá Garcíá, J. F. *Manual de Careteras 2 Construccion y Mantenimiento.* España.
- Bolzan, P. E. *Mezclas Asfálticas en Caliente de Bajo Espesor.* Argentina.

- Capusano Brown, D., & Gonzales Reveco, G. (2007). *Formulaion de un Proyecto de Seguimiento para Carpetas de Rodaduras de Microaglomerados Discontinuos en Caliente*. Santiago de Chile.
- SIECA. (2010). *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras con Enfoque de Gestion de Riesgo y Seguridad Vial*. Guatemala.
- Vasques Varela, L. R. (2002). *Paviment Condition Index (PCI) para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras*. Manizales, Colombia.
- Viceministerio de Obras Publicas. (2010). *Sleccion del Tipo de Cemento Asfáltico Para Producir Mezclas Asfálticas en Caliente en El Salvador*. San Salvador.
- Viceministerio de Obras Publicas. (2009). *Técnicas de Rehabilitación Superficial de Pavimentos Asfálticos*. San Salvador.
- BIBLIOGRAPHY Gil Redondo, S., González León, J. A., & Sánchez Alonso, E. (2010). *Estudio del ángulo de con tac to de betune s aditivados y su efec to sobre distin tas propie dades mec ánicas de las me zclas asfálticas*. En ASEFMA 2010. madrid.
- Sánchez Caba, J. (2003). *Purificación de parafinas de petróleo por hidrogenación catalítica*. Madrid.

GLOSARIO

Agregado Material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Agregado grueso Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (# 4).

Agregado fino Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (# 4).

Ahuellamiento Surcos que se desarrollan en el pavimento, en los carriles de las ruedas. Puede ser resultado de una consolidación por movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tráfico o, pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Ocurren como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el tráfico.

Alquitrán de hulla Material de color carmelito oscuro a negro, producido mediante la destilación destructiva del carbón bituminoso de piedra.

Asfaltenos Son la fracción de hidrocarburo de alto peso molecular, en el asfalto, que es precipitada por medio de un solvente parafínico de nafta, usando una proporción específica de solvente - asfalto.

Asfalto Material cementante, de color entre carmelito oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de petróleos crudos.

Asfalto modificado Producto resultante de la incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido.

Balasto: Una capa superficial de material selecto consistiendo por lo general de material granular natural o agregado triturado, que se coloca sobre la subrasante terminada de unas carreteras, con el objeto de protegerla y que sirva de superficie de rodadura, para permitir el libre tránsito durante todas las épocas del año.

Base: Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

Bitumen Sustancia cementante de color negro (sólida, semi- sólida o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas o alquitranes, los betunes y las asfaltitas.

Calzada: Zona de la carretera destinada a la circulación de vehículos, con ancho suficiente para acomodar un cierto número de carriles para el movimiento de los mismos, excluyendo los hombros laterales.

Carpeta o Superficie de Rodamiento o Rodadura: La parte superior de un pavimento, por lo general de pavimento bituminoso o rígido, que sostiene directamente la circulación vehicular.

Carretera, calle o camino: Un calificativo general que designa una vía pública para fines de tránsito de vehículo, y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.

Cemento asfáltico Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.

Compactación Acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Generalmente la compactación se logra usando los rodillos o compactadores neumáticos.

Consistencia Describe el grado de fluidez o plasticidad de un cemento asfáltico a determinada temperatura. La consistencia de un cemento asfáltico varía con la temperatura: por lo tanto es necesario usar una temperatura patrón cuando se está comparando la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro. La temperatura utilizada para este propósito es 60°C (140°F).

Daños: Desperfectos ocurridos en la superficie de una carretera debido a efectos de clima y tránsito.

Deformación Cualquier cambio que presente un pavimento respecto a su forma original.

Deflexión: El desplazamiento vertical temporal de un pavimento proveniente de la aplicación de cargas de las ruedas de los vehículos.

Densidad Grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada. Está limitada por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la mezcla.

Derecho de Vía: El área de terreno que el Gobierno suministra para ser usada en la construcción de la carretera, sus estructuras, anexos y futuras ampliaciones.

Desintegración Separación progresiva de las partículas del agregado en el pavimento desde la superficie hacia abajo, o desde los bordes hacia el interior. Puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa de rodadura muy delgada en periodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

Ductilidad Capacidad de una sustancia para ser estirada o estrechada en forma delgada.

Estabilidad Capacidad de una mezcla asfáltica de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad está en función de la cohesión y la fricción interna del material.

Flexibilidad Capacidad del pavimento asfáltico de ajustarse a los asentamientos en la fundación.

Grietas Fracturas en la superficie del pavimento asfáltico.

Hombro: Las áreas de la carretera, contiguas y paralelas a la carpeta o superficie de rodadura, que sirven de confinamiento a la capa de base y de zona de estacionamiento accidental de vehículos.

Impermeabilidad Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

Mantenimiento: Conjunto de tareas de limpieza, reemplazo y reparación que se realizan de manera regular y ordenada en una carretera, para asegurar su buen funcionamiento y la prolongación de su vida de servicio, al máximo compatible con las previsiones de diseño y construcción de la obra.

Mejoramiento: Ejecución de las actividades constructivas necesarias para dotar a una carretera existente, en bueno, regular o mal estado, de mejores condiciones físicas y operativas de las que disponía anteriormente, para ampliar su capacidad o simplemente ofrecer un mejor servicio al usuario.

Mezcla asfáltica en caliente Mezclas de planta que deben ser colocadas y compactadas a temperaturas elevadas.

Ondulaciones Deformación en el pavimento, dando origen a un movimiento plástico caracterizado por ondas en la superficie del pavimento.

Pavimento: La estructura integral de las capas de subrasante, sub-base, base y carpeta colocado en cima de la rasante y destinada a sostener las cargas vehiculares.



Penetración Consistencia de un material bituminoso, se expresa como la distancia, en décimas de milímetro (0.1 mm), que una aguja patrón penetra verticalmente una muestra del material bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.

Poise Unidad, centímetro-gramo-segundo, de viscosidad absoluta.

Polímero Sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten.

Reconstrucción: Trabajo mayor de rehabilitación de una carretera en mal estado, para restablecer sus condiciones físicas a un mejor nivel de servicio, al que fue construida anteriormente.

Rehabilitación: Ejecución de las actividades constructivas necesarias para restablecer las condiciones físicas de la carretera a su situación como fue construida originalmente.

Resistencia a la fatiga Capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por cargas móviles. Entre más alto contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.

Resistencia al deslizamiento Propiedad de la superficie asfáltica de resistir el deslizamiento, particularmente cuando esta mojado.

Rugosidad: La desviación vertical del perfil de un pavimento de su forma tal como fue diseñado y que resulta en incomodidades en el manejo del vehículo. Por lo general, la rugosidad se mide para fines de mantenimiento vial por medio de IRI.

Stoke Unidad de viscosidad cinemática igual a la viscosidad de un fluido en poises dividida entre la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico.

Subrasante: Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Tamiz Aparato de aberturas cuadradas, utilizado para separar tamaños de material.

Trabajabilidad Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.

Tránsito: Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras, etc.

Vacíos Espacios de aire en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.

Viscosidad Medida de la resistencia al flujo. Método usado para medir la consistencia del asfalto.

Viscosidad absoluta Método utilizado para medir viscosidad usando el poise como la unidad de medida. Este método hace uso de un vacío parcial para inducir el flujo en el viscosímetro.

Viscosidad cinemática Método utilizado para medir viscosidad usando el poise como la unidad de medida.

ANEXOS

ANEXO 1