

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



**TRABAJO DE GRADUACIÓN:
“DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE DRENANTE
EN EL SALVADOR”**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:
LINARES FLORES, LESSER ROBERTO
MORAN PUENTE, REBECA ISMENIA
PEÑATE MAGAÑA, RAÚL ALBERTO**

**DOCENTE DIRECTOR:
ING. JOSÉ ROLANDO CENTE MATAMOROS**

**SEPTIEMBRE, 2010
SANTA ANA EL SALVADOR CENTROAMÉRICA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. Y MSC. RUFINO QUEZADA SÁNCHEZ

VICE-RECTOR ACADÉMICO:

ARQ. Y MÁSTER MIGUEL ÁNGEL PÉREZ RAMOS

VICE-RECTOR ADMINISTRATIVO:

LICDO. Y MÁSTER OSCAR NOE NAVARRETE

SECRETARIA GENERAL :

LICDO. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FISCAL GENERAL:

DR. RENÉ MADECADEL PERLA JIMÉNEZ

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DECANO:

LICDO. JORGE MAURICIO RIVERA

VICE-DECANO:

LICDO. Y MÁSTER ELADIO EFRAÍN ZACARÍAS ORTEZ.

SECRETARIO DE LA FACULTAD:

LICDO. VÍCTOR HUGO MERINO QUEZADA

JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

ING. RAÚL ERNESTO MARTÍNEZ BERMÚDEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director:

ING. JOSÉ ROLANDO CENTE MATAMOROS

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por habernos dado fortaleza, sabiduría y discernimiento a lo largo de toda nuestra carrera universitaria.

A la Universidad de El Salvador, por habernos formado y dado la oportunidad de crecer intelectualmente.

A nuestros Docentes, que a lo largo de nuestra carrera universitaria nos infundieron sus conocimientos para convertirnos en ingenieros preparados y capaces. En especial a:

Ing., Raúl Martínez Bermúdez.

Ing. José Rolando Cente.

Ing. Joel Paniagua.

Ing. Obdulio Gochez.

Ing. William Ortiz.

A la empresa ASFALTOS DE CENTRO AMERICA S.A. DE C.V., que nos colaboro desinteresadamente durante el desarrollo de nuestro trabajo de graduación, con asesoría técnica, instalaciones y equipo de laboratorio.

A los diferentes profesionales, que con su valiosa colaboración nos brindaron su apoyo, sus conocimientos y experiencia, enriqueciendo la elaboración de este trabajo de graduación, especialmente a:

Ing. Carlos Mata Trigueros. (Asesor Externo)

Ing. Roberto Aguirre Renderos.

Ing. Edgardo Alfredo Torres Dahbura.

Tec. Carlos Joaquín Contreras (Don Pancho)

Tec. José Alfidio Rauda Hernández. (Don Chepe)

Tec. Clara Carmina Castaneda de Argueta.

Tec. Raúl Edgar Chica Calderón.

Ing. Francisco Arriaza.

En general a todas las personas que contribuyeron de forma directa o indirecta a la realización del presente trabajo de graduación.

DEDICATORIA

- A DIOS:** Por darme siempre la motivación y las fuerzas para mantenerme enfocado en terminar mi carrera universitaria.
- A MIS PADRES:** Lesser Roberto Linares y María del Carmen Flores de Linares por todo el apoyo incondicional que me han dado, por todos los sacrificios que han hecho para salir adelante y la comprensión que han tenido en todos estos años de estudio y en especial todo el tiempo de duración de este trabajo. Este trabajo es un logro suyo también.
- A MIS HERMANOS:** Oscar y Luisa por su apoyo y comprensión en todo este tiempo.
- A MIS FAMILIARES:** Por el apoyo y confianza que me han dado toda mi vida y en mi carrera universitaria, en especial a mis Abuelas María Luisa Flores y Graciela Linares, junto con mi tío Oscar Flores.
- A MIS AMIGOS:** A todos mis compañeros en la universidad y de tesis, mis amigos de mi parroquia y de mi vida entera, con quienes he compartido mucho y me han dado ánimos de seguir adelante.
- A ARTURO FRANCIA:** Nuestro compañero que se nos adelanto a la presencia de Dios, que este gozando del descanso eterno, esta tesis es por ti.

LESSER LINARES

DEDICATORIA

A DIOS, por permitirme alcanzar un sueño dándome fuerza y orientando mis pensamientos a través de las personas correctas en los momentos difíciles. Con tantas pruebas aprendí a no darme por vencida.

A mis padres, Alvaro William Morán Morán y Badnia Ismenia Puente de Morán, por el apoyo y la paciencia que hizo que pudiera finalizar mis estudios con satisfacción. La meta que hoy alcanzo también es suya.

A mis hermanos, Edgardo y William, por siempre confiar y creer en mí, en que podía realizar este logro. No tienen idea de cuánto los quiero y lo importante que son en mi vida.

A mi familia, especialmente a mis abuelas, por la comprensión y el cariño brindado durante toda mi vida.

A mis amigo y compañeros, especialmente a Oscar Huezo, por los ánimos y la ayuda que me brindaron en los momentos difíciles. Han sido una parte importante para que pudiera finalizar con éxito mi carrera.

A Francia Murcia (Q.D.D.G), esto es un reflejo de tus sueños.

REBECA MORAN

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso: por haberme dado la fuerza necesaria para poder concluir mis estudios, por brindarme su ayuda en los momentos mas difíciles de mi carrera, además de protegerme de todo mal durante todo el tiempo que viaje a mi lugar de estudios, se que sin él este triunfo no hubiese sido posible.

A la Virgen María: por ser una madre de amor que siempre intercedió para poder alcanzar este objetivo que me propuse y hoy lo estoy alcanzando.

A mi papá Saúl Magaña y a mi mamá Lilian Peñate: que me brindaron todo su apoyo económico y moral para poder concluir mis estudios. Siempre me apoyaron en los buenos y malos momentos de mi carrera, les agradezco mucho. Son unas personas muy especiales para mí.

A mi hermano Ricardo, mi abuelita Graciela y demás familia: que me apoyaron de alguna forma para poder concluir de buena manera mis estudios.

A mis compañeros de trabajo de grado Lesser y Rebeca: con quienes siempre nos comprendimos muy bien para tomar las mejores decisiones y así terminar de la mejor manera este trabajo de grado. Les agradezco por su apoyo y por la amistad brindada.

A mis compañeros de la universidad: que siempre me ayudaron a alcanzar este objetivo. Especialmente con quienes compartimos tristezas, alegrías y desvelos (Samuel, Rodolfo, Salvador, Heráclito, Hosni, Cerritos, Binueza etc.).

A mi compañero Arturo Francia Murcia (Q. D. D. G): que está en el cielo gozando junto con Dios.

RAÚL PEÑATE

INDICE

CONTENIDO	PAG
ABREVIATURAS Y SIMBOLOS	XXVIII
INTRODUCCION	XXXI
CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.0 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.3 OBJETIVOS	10
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.4 ALCANCES GLOBALES	11
1.5 LIMITACIONES	12
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	13
CAPITULO II: MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	14
2.1 DESARROLLO DE CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	15
2.1.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO	15
2.1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS.....	16
2.1.2.1 Pavimento Rígido	16
2.1.2.2 Pavimento Flexible	16
2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE ASFALTO	16
2.2.1 DEFINICION DE ASFALTO.....	16
2.2.2 PROPIEDADES FISICAS DEL ASFALTO.....	17
2.2.2.1 Adhesión y cohesión	18
2.2.2.2 Susceptibilidad Térmica.....	19
2.2.2.3 Durabilidad.....	20

2.2.3 PROPIEDADES QUIMICAS DEL ASFALTO.....	20
2.3 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.....	23
2.3.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR PENETRACIÓN.....	23
2.3.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD.....	24
2.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	26
2.4.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	26
2.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	27
2.4.2.1 Por Fracciones de Agregado Pétreo Empleado.....	27
2.4.2.2 Por la Temperatura de Puesta en Obra.....	28
2.4.2.3 Por la Proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica.....	28
2.4.2.4 Por el Tamaño Máximo del Agregado Pétreo.....	28
2.4.2.5 Por la Estructura del Agregado Pétreo.....	29
2.4.2.6 Por la Granulometría.....	29
2.4.3 TIPOLOGÍA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	30
2.4.3.1 Mezcla Asfáltica en Caliente.....	30
2.4.3.2 Mezcla Asfáltica en Frío.....	31
2.4.3.3 Mezcla Porosa o Drenante.....	32
2.4.3.4 Microaglomerados.....	32
2.4.4 METODOS DE MEZCLADO.....	32
2.4.4.1 Mezcla en Planta.....	33
2.4.4.2 Mezcla en Sitio.....	37
2.4.5 SELECCIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA.....	37
2.4.6 TIPOLOGIAS DE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....	40
2.4.6.1 Fallos en la Construcción.....	40
2.4.6.2 Exudaciones.....	41
2.4.6.3 Segregaciones.....	42
2.4.6.4 Desenvuelta o Desplazamiento de los Agregados Pétreos.....	45
2.4.6.5 Textura Superficial Inadecuada.....	46

2.4.6.6 Agrietamientos y Fisuras	47
2.4.6.7 Bombeo de Finos	49
2.4.6.8 Deformaciones Plásticas.....	50
CAPITULO III: CARACTERÍSTICAS Y METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE MEZCLAS SEMICALIENTES Y DRENANTES.....	53
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS SEMICALIENTES.....	54
3.1.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA SEMICALIENTE.	54
3.1.2 COMPORTAMIENTO VISCOSIDAD VRS TEMPERATURA EN MEZCLAS SEMICALIENTES.	55
3.1.3 VENTAJAS DE LAS MEZCLAS SEMICALIENTES.	56
3.1.3.1 Ventajas Ambientales.....	56
3.1.3.2 Ventajas Económicas.....	57
3.1.3.3 Ventajas de Producción.	58
3.1.3.4 Ventajas de Puesta en Obra.	58
3.1.4 DESVENTAJAS DE LAS MEZCLAS SEMICALIENTES.....	59
3.1.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL LIGANTE DE UNA MEZCLA SEMICALIENTE.....	60
3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES.	60
3.2.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA DRENANTE.....	60
3.2.2 ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS.	61
3.2.2.1 Tipos de Asfaltos Modificados.....	62
3.2.2.2 Compatibilidad de los Polímeros.....	63
3.2.2.3 Uso y Aplicaciones de Asfaltos Modificados.	64
3.2.3 VENTAJAS DE MEZCLAS DRENANTES.	65
3.2.4 DESVENTAJAS DE MEZCLAS DRENANTES.	66
3.2.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL LIGANTE DE UNA MEZCLA DRENANTE.....	67

3.2.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LOS AGREGADOS DE MEZCLAS DRENANTES.....	68
3.2.6.1 Agregado Grueso.....	69
3.2.6.2 Agregado Fino.....	70
3.2.6.3 Relleno Mineral (FILLER).....	70
3.2.6.4 Mezcla de Agregados.....	71
3.2.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RIEGO DE LIGA.	72
3.2.8 GEOSINTÉTICOS EN PAVIMENTOS DRENANTES.....	72
3.3 METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES (MÉTODO UCL) PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.	73
3.3.1 COHESIÓN.....	74
3.3.2 ADHESIÓN ÁRIDO-LIGANTE	74
3.3.3 SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA.....	75
3.3.4 ENVEJECIMIENTO	76
3.4 METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE MEZCLAS POROSAS O DRENANTES.	78
3.4.1 AUSTRALIANA (Open Graded Asphalt Design Guide, originada en la Australian Asphalt Pavement Association)	79
3.4.2 RP (ORIGEN CHILE).....	81
3.4.3 TRACCIÓN INDIRECTA (ORIGEN BRASIL).....	82
3.4.4 CANTABRO (ORIGEN ESPAÑA).....	84
3.5 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DE EL SALVADOR.....	91
3.5.1 REGISTROS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO.	91
3.5.2 REGISTRO DE PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES.	96
CAPITULO IV: DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE DRENANTE.....	99
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS	100

4.1.1. AGREGADOS PÉTREOS.....	100
4.1.2. CEMENTO ASFÁLTICO	103
4.1.2.1 ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO.	103
4.1.2.2 ENSAYO DE PENETRACIÓN.....	106
4.1.2.3 ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN. .	107
4.1.2.4 CARTA DE VISCOSIDAD DEL ASFALTO.....	109
4.2 PREPARACIÓN Y FABRICACIÓN DE BRIQUETAS CILINDRICAS PARA EL ENSAYO CÁNTABRO	111
4.2.1 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS	111
4.2.1.1 Elaboración de la mezcla.	112
4.2.1.2 Compactación de las briquetas	115
4.2.1.3 Peso y Volumen de las briquetas.....	118
4.3 DENSIDAD Y ANÁLISIS DE HUECOS	120
4.3.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BULK DE CADA BRIQUETA.	120
4.3.2 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (ENSAYO RICE).....	121
4.3.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACIOS DE CADA BRIQUETA.	125
4.4 DETERMINACION DEL DESEMPEÑO DE LA COHESIVIDAD DE LA MEZCLA.....	127
4.5 DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA SOBRE LA ADHESIVIDAD DE LA MEZCLA.....	132
4.6 ELECCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE LIGANTE.	135
4.7 EVALUACIÓN DE LA MEZCLA DRENANTE	139
4.7.1 ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA	139
4.7.2 ANÁLISIS DEL ENVEJECIMIENTO	142
4.7.3 ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD	145

CAPITULO V: FABRICACIÓN, COLOCACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES DRENANTES..... 150

5.1 REQUERIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.....	151
5.1.1 CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN.....	151
5.1.2 ANALISIS DE COSTOS DE FABRICACION DE MEZCLAS SEMICALIENTES DRENANTES.....	152
5.1.3 CATÁLOGO DE SECCIONES DE PAVIMENTOS CON CARPETAS DE RODADURA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES.....	154
5.1.4 SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO CON DETALLES DE CORTES Y RELLENOS.....	155
5.1.5 ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE APORTE ESTRUCTURAL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE.....	158
5.2 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.....	162
5.2.1 PLANTA ASFÁLTICA.....	162
5.2.2 ELEMENTOS DE TRANSPORTE.....	163
5.2.3 EQUIPOS DE COMPACTACIÓN.....	164
5.2.4 EQUIPO PARA RIEGO DE LIGA.....	164
5.3 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.....	164
5.3.1 PRESENTACIÓN DE LA FÓRMULA DE OBRA.....	164
5.3.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE APOYO Y RIEGO DE LIGA.....	165
5.3.3 FABRICACIÓN DE LA MEZCLA.....	166
5.3.4 TRANSPORTE DE LA MEZCLA.....	166
5.3.5 EXTENSIÓN DE LA MEZCLA.....	166
5.3.6 COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA.....	167
5.3.7 JUNTAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES.....	168
5.3.8 LIMPIEZA.....	168
5.4 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA.....	169

5.4.1 PORCENTAJE DE VACÍOS.	169
5.4.2 ESPESOR.	169
5.5 CONTROL DE EJECUCIÓN.	169
5.5.1 PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.	169
5.5.2 CONTROL DE LA UNIDAD TERMINADA.	171
5.5.3 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA RELATIVA (CHR).	171
5.6 MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DRENANTES. ...	172
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	176
6.1 CONCLUSIONES.....	177
6.2 RECOMENDACIONES.....	181
6.3 BIBLIOGRAFÍA.....	182
GLOSARIO.....	187
ANEXOS.....	201

INDICE DE FIGURAS.

CONTENIDO	PAG
Figura 1.1 Efecto de la película de Agua sobre el contacto neumático-pavimento.	8
Figura 2.1 Acción de desenvuelta del agua	18
Figura 2.2 Influencia de la temperatura en el comportamiento de los ligantes asfálticos.....	19
Figura 2.3 Composición del asfalto.....	21
Figura 2.4 Estructura coloidal del asfalto.....	22
Figura 3.1. Clasificación de las Mezclas Asfálticas en relación a su Temperatura de Fabricación.....	54
Figura 3.2. Comportamiento de la viscosidad de un betún con la temperatura.	55
Figura 3.3. Paso del agua en una Mezcla Drenante.....	61
Figura 3.4. Evaluación de la adhesividad árido-ligante. Pérdidas al cántabro en seco y tras inmersión.....	75
Figura 3.5. Influencia de la temperatura en el comportamiento de las mezclas asfálticas por el método cántabro (curva de estado).	76
Figura 3.6. Curva de envejecimiento.	78
Figura 3.7. Susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos.	89
Figura 3.8 Ubicación de zonas de medición de la temperatura superficial del pavimento.	92
Figura 3.9. Esquema de medición de temperatura de la superficie del pavimento.	93
Figura 3.10 Mapa de Precipitación Promedio Anual. Periodo: 1971 – 2001.....	98

Figura 4.1. a) Anillo de bronce. b) Portador de anillos. c) Guías para centrar las esferas.	105
Figura 4.2. Carta de Viscosidad de AC-30 sin Modificar y AC-30 Modificado con SBS y SASOBIT®.....	110
Figura 4.3. Conjunto de compactación.	116
Figura 4.4. Maza de compactación para el aparato Marshall.	117
Figura 4.5. Conjunto de Maquina de Los Ángeles	128
Figura 4.6 Permeámetro LCS.	146
Figura 5.1 Secciones de pavimentos con carpeta de rodadura drenante. MD = Mezcla Drenante MB = Mezcla Bituminosa GC = Grava Cemento (Base Granular) SC = Suelo Cemento.	154
Figura 5.2 Sección Transversal Tipo de un Pavimento Provisto con Capa de Rodadura de Mezcla Asfáltica Drenante.....	156
Figura 5.3 Sección Transversal en Corte de un Pavimento con Capa de Rodadura Drenante.	157
Figura 5.4. Sección Transversal en Relleno de un Pavimento con Capa de Rodadura Drenante.	157
Figura 5.5 Nomograma para estimar el coeficiente estructural a partir de la estabilidad marshall.	161

INDICE DE FOTOGRAFIAS.

CONTENIDO	PAG
Fotografía 1.1 Tramo San Martín-San Rafael Los Cedros.....	3
Fotografía 1.2 Carpeta de concreto asfaltico de granulometría abierta en el tramo de carretera San Martín-San Rafael Los Cedros.....	4
Fotografía 1.3 Proyecciones de agua.	9
Fotografía 2.1 Planta de asfalto continua de flujo paralelo.	33
Fotografía 2.2. Planta asfáltica discontinua.	34
Fotografía 2.3 Planta Asfáltica de secado a contra flujo.	35
Fotografía 2.4 Planta asfáltica de mezclado en frío.	35
Fotografía 2.5. Planta asfáltica tipo drum-mix.....	36
Fotografía 2.6. Mezcla en sitio.	37
Fotografías 2.7. Fallos en la Construcción de pavimentos asfálticos.....	41
Fotografías 2.8. Exudación en pavimento asfáltico.....	42
Fotografías 2.9. Segregación Transversal en Pavimento Asfáltico.....	44
Fotografías 2.10. Segregación longitudinal en pavimento asfáltico.	45
Fotografías 2.11. Textura superficial inadecuada en pavimentos asfálticos.....	47
Fotografías 2.12. Agrietamientos y Fisuras en pavimentos asfálticos.	49
Fotografías 2.13. Bombeo de finos en pavimentos asfálticos.	50
Fotografía 2.14. Deformación plástica permanente en pavimento asfáltico.....	52
Fotografía 3.1.Medición en Carretera del Litoral, Desvío Zacatecoluca-Comalapa. Personal de la UIDV, durante la toma de registro de temperatura superficial del pavimento.	94

Fotografía 4.1. Ubicación de La Cantera de San Diego, La Libertad.	100
Fotografía 4.2. Caída de esferas en ensayo de punto de ablandamiento.....	104
Fotografía 4.3 Penetrometro	106
Fotografía 4.4 Vertido de asfalto en el cilindro metálico para recuperación elástica.....	108
Fotografía 4.5 Proceso de mezclado del pétreo con el asfalto.	113
Fotografía 4.6. Mezclado del asfalto con el pétreo.	114
Fotografía 4.7. Finalización del proceso de mezclado. Pétreo totalmente recubierto.	114
Fotografía 4.8. Colocación de la mezcla en el molde Marshall.	116
Fotografía 4.9. Pesado de briquetas.	118
Fotografía 4.10. Medición de las briquetas.	118
Fotografía 4.11. Desmenuzado de partículas de asfalto.....	122
Fotografía 4.12. Partículas desmenuzadas.	122
Fotografía 4.13. Picnómetro.....	123
Fotografía 4.14. Picnómetro más agua.....	123
Fotografía 4.15. Equipo de agitación y picnómetro.....	124
Fotografía 4.16. Aforo del picnómetro.....	124
Fotografía 4.17. Briquetas antes de prueba cántabro seco.	127
Fotografía 4.18 Briquetas sumergidas en baño de maría a 60°C.	132
Fotografía 4.19 Briquetas dentro del horno de aire forzado.....	140
Fotografía 4.20 Mecanismo de sujeción y confinamiento para realizar el ensayo de envejecimiento.	143

Fotografía 4.21 Briquetas en horno de aire forzado para prueba de envejecimiento.....	143
Fotografía 4.22 Permeámetro LCS hecho a mano.	146
Fotografía 5.1 Briqueta tipo Marshall sometida a deformación.....	158
Fotografía 5.2 Permeámetro LCS.....	173

INDICE DE GRAFICAS.

CONTENIDO	PAG
Grafica 4.1 Perdidas en ensayo Cántabro Seco a 100, 200 y 300 revoluciones para los diferentes porcentajes de ligante.	131
Grafica 4.2 Perdidas en ensayo Cántabro Húmedo a 100, 200 y 300 revoluciones para los diferentes porcentajes de ligante.	134
Grafica 4.3. Efecto del agua sobre las pérdidas por desgaste a 25°C. 300 revoluciones.....	135
Grafica 4.4 Densidad bulk vrs. Porcentaje de Ligante Asfaltico.....	136
Grafica 4.5 Porcentaje de Vacios vrs. Porcentaje de Ligante Asfaltico.....	136
Grafica 4.6 Porcentaje de Perdidas al Desgaste a 300 revoluciones del ensayo de Cohesión vrs Porcentaje de Ligante Asfaltico.....	137
Grafica 4.7 Porcentaje de Perdidas al Desgaste a 300 revoluciones del ensayo de Adhesion vrs Porcentaje de Ligante Asfaltico.	138
Grafica 4.8 Efecto de la temperatura sobre las pérdidas por desgaste a 300 revoluciones.....	141
Grafica 4.9 Efecto del tiempo de envejecimiento sobre las pérdidas por desgaste a 300 revoluciones.	145
Grafica 4.10 Correlación coeficiente de permeabilidad–tiempo de evacuación.	148
Grafica 5.1 Estabilidad Marshall vrs contenido de asfalto.....	160
Grafica 5.2 Flujo Marshall vrs contenido de asfalto.	160

INDICE DE TABLAS.

CONTENIDO	PAG
Tabla 1.1. Cuadro resumen de daños en el tramo I.....	6
Tabla 2.1. Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 946-82.....	24
Tabla 2.2. Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 3381.....	25
Tabla 2.3. Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 3381.....	26
Tabla 2.4. Clasificaciones de las Mezclas Asfálticas.	30
Tabla 3.1 Requisitos del cemento asfáltico modificado.	68
Tabla 3.2. Requisitos del Agregado Grueso.	69
Tabla 3.3 Requisitos del Agregado Fino.	70
Tabla 3.4. Requisitos del Agregados Combinados.	71
Tabla 3.5. Bandas granulométricas propuestas.....	71
Tabla 3.6. Especificaciones de emulsión CRS - 2L.	72
Tabla 3.7 Husos granulométricos españoles para mezclas abiertas.	86
Tabla 3.8. Zonas seleccionadas para la medición de temperatura superficial del pavimento.	92
Tabla 3.9. Valores máximos de Temperaturas ambiente y Temperatura de la superficie del pavimento para cada una de las zonas de medición consideradas en la investigación.	95
Tabla 3.10 Precipitación Media por Región Hidrográfica En El Salvador	97

Tabla 4.1. Propiedades del agregado grueso.	101
Tabla 4.2. Propiedades del agregado fino.	101
Tabla 4.3. Granulometría de los agregados.....	102
Tabla 4.4. Granulometría combinada de los agregados.	103
Tabla 4.5 Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímero...	109
Tabla 4.6 Pesos para realizar corrección de masa	112
Tabla 4.7. Pesos de los materiales para fabricas briquetas.....	115
Tabla 4.8. Datos de las briquetas fabricadas para ensayarla a cohesión.	119
Tabla 4.9. Densidades relativas aparentes de briquetas para cohesión.....	121
Tabla 4.10. Gravedad Específica Máxima de la mezcla de acuerdo al porcentaje de ligante.	125
Tabla 4.11. Porcentaje de Vacíos de briquetas ensayadas para cohesión.....	126
Tabla 4.12. Pérdidas al Cántabro en Seco a 100, 200 y 300 revoluciones.....	130
Tabla 4.13. Densidades Bulk y Contenidos de Huecos para ensayo Cántabro Húmedo.	133
Tabla 4.14 Pérdidas al Cántabro en Húmedo a 100, 200 y 300 revoluciones.	134
Tabla 4.15 Calculo del porcentaje optimo de asfalto.	138
Tabla 4.16 Pérdidas al cántabro a distintas temperaturas y diferentes grados de severidad del ensayo (100,200 y 300 revoluciones).	140
Tabla 4.17 Pérdidas al cántabro a distintos tiempos de envejecimiento y diferentes grados de severidad del ensayo (100,200 y 300 revoluciones).	144
Tabla 4.18 Tiempos en segundos de evacuación del agua de cada porcentaje de ligante.	147
Tabla 4.19 Coeficientes de Permeabilidad de cada porcentaje de ligante.....	149

Tabla 5.1. Requisitos de dosificación para mezclas drenantes.	152
Tabla 5.2 Costo por metro cubico de fabricación de una mezcla asfáltica densa en caliente.	153
Tabla 5.3 Costo por metro cubico de fabricación de una mezcla asfáltica semicaliente drenante.....	153
Tabla 5.4 Categorías de Trafico Pesado en IMDp y su equivalencia en TE ...	155
Tabla 5.5 Lecturas tomadas del ensayo Marshall, estabilidad en lbs., flujo en 0.01pulg.	159
Tabla 5.6 Criterios de diseño Marshall.....	162
Tabla 5.7 Dosis Mínima de Ligante Residual en Riego de Adherencia.	165
Tabla 5.8 Husos Granulométricos.....	170
Tabla 5.9 Tolerancias Granulométricas de la Mezcla de Áridos	170
Tabla 5.10 Coeficientes de corrección.....	172

INDICE DE ANEXOS.

CONTENIDO	PAG
Determinacion del Peso Específico y Absorcion del Agregado Grueso para Agregado $\frac{3}{4}$ "	ANEXO 1
Ensayo de Resistencia a la Absorcion e Impacto en La Maquina de Los Angeles para Agregado $\frac{3}{4}$ "	ANEXO 2
Ensayo de Particulas Planas y Alargadas para Agregado $\frac{3}{4}$ "	ANEXO 3
Ensayo de Particulas de Caras Fracturadas para Agregado $\frac{3}{4}$ "	ANEXO 4
Grumos de Arcilla y Particulas Desmenuzables para Agregado $\frac{3}{4}$ "	ANEXO 5
Metodo Estandar para Sanidad de los Agregados por el uso de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio para Agregado $\frac{3}{4}$ "	ANEXO 6
Determinacion del Peso Específico y Absorcion del Agregado Grueso para Agregado $\frac{1}{2}$ "	ANEXO 7
Ensayo de Resistencia a la Absorcion e Impacto en La Maquina de Los Ángeles para Agregado $\frac{1}{2}$ "	ANEXO 8
Ensayo de Particulas Planas y Alargadas para Agregado $\frac{1}{2}$ "	ANEXO 9
Ensayo de Particulas de Caras Fracturadas para Agregado $\frac{1}{2}$ "	ANEXO 10
Grumos de Arcilla y Particulas Desmenuzables para Agregado $\frac{1}{2}$ "	ANEXO 11
Metodo Estandar para Sanidad pe los Agregados por el uso de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio para Agregado $\frac{1}{2}$ "	ANEXO 12
Determinacion del Peso Específico y Absorcion del Agregado Fino.....	ANEXO 13
Equivalente de Arena para la Arena Triturada.....	ANEXO 14
Metodo Estandar para Sanidad de los Agregados por el uso de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio para la Arena Triturada	ANEXO 15

Grumos de Arcilla y Particulas Desmenuzables para la Arena Triturada	ANEXO 16
Limites de Atterberg de la Arena Triturada	ANEXO 17
Ensayo Granulometrico de Agregado Intermedio para Agregado $\frac{3}{4}$ "	ANEXO 18
ensayo Granulometrico de Agregado Intermedio para Agregado $\frac{1}{2}$ "	ANEXO 19
ensayo Granulometrico de Agregado Intermedio para Arena Triturada	ANEXO 20
Ensayo Granulometrico de Agregado Intermedio de la Formula Combinada de los Agregados	ANEXO 21

ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

°F: Grados Fahrenheit

µm: Micrometro

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation

AC: Asphalt Cement

ASFALCA: Asfaltos de Centro América

ASTM: American Society for Testing and Materials

° C: Grados Centígrados

CA-1: Carretera Panamericana

CAD: Concreto Asfáltico Drenante

CHR: Conductividad Hidráulica Relativa

CLmax: Contenido de Ligante Máximo

CLmin: Contenido de Ligante Mínimo

Cm: Centímetro

cm³: Centímetros Cúbicos

CO₂: Dióxido de Carbono

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

cP: Centipoise

cSt: CentiStokes

EVA: Etil-Vinil-Acetato

Gr: Gramo

H: Hora

Hg: Mercurio

HMA: Hot Mix Asphalt

INV: Instituto Nacional de Vías de Colombia

IRAM: Normas del Instituto de Racionalización de Materiales

K: Valor de Permeabilidad

Kg/m²: Kilogramo/Metro Cuadrado

Km: Kilometro

kPa: Kilo Pascales

LCS: Laboratorios de Caminos de Santander

LD: Lado Derecho

LI: Lado Izquierdo

LNV: Laboratorio Nacional de Vialidad de Chile

M: Metro

M²: Metro Cuadrado

Max: Máximo

MD: Mezcla Drenante

Mín: Mínimo

Min: Minuto

MI: Mililitro

Mm hg: Milímetros de Mercurio

Mm: Milímetro

MOP: Ministerio de Obras Publicas de El Salvador

MOPU: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España

mPa.s: Mili Pascal por Segundo

N.P: No Plástico

N°: Número

NLT: Normas de Laboratorio de Transporte de España

NOx: Óxidos de Nitrógeno

Ø: Diámetro

Pulg: Pulgada

Rad: Radianes

Rev: Revoluciones

RFTO: Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio

Rpm: Revoluciones por Minuto

Seg: Segundos

SB: Estireno-Butadieno

SBS: Estireno-Butadieno-Estireno

SNET: Servicio Nacional de Estudios Territoriales

SO²: Oxido de Azufre

T max: Tamaño Máximo

Temp: Temperatura

TFO: Prueba de Película Delgada en Horno

TMDA: Transito Medio Diario Anual

TMN: Tamaño Máximo Nominal

UCL: Método de Caracterización de Ligantes

UIDV: Unidad de Investigación y Desarrollo Vial

WMA: Warm Mix Asphalt

INTRODUCCION

El Diseño de la Mezcla Asfáltica Semicaliente Drenante es muy diferente al aplicado para las mezclas densas o cerradas que utilizan el método Marshall creado para mezclas asfálticas con porcentajes de vacíos entre los 3 y 5%.

Las mezclas drenantes o porosas necesitan de otro tipo de diseño, este método debe ayudar a poder determinar el desempeño que la mezcla tendrá puesta en campo. Se parte de la característica principal de estas mezclas, la cual es su alto contenido de huecos o vacíos (20 – 25%) que permiten que el agua drene a través de ella, por lo que la condición principal que debe cumplir es su resistencia a la disgregación con el mayor porcentaje de vacíos posible.

El diseño estará basado en el ensayo Cántabro, el cual utiliza la máquina de los ángeles para someter probetas Marshall y simular las condiciones de abrasión del tráfico. Se determina el contenido de ligante que sea capaz de mantener una cohesión que no permita el fácil desprendimiento de las partículas con el máximo contenido de huecos posible.

Capítulo I “GENERALIDADES”

Este capítulo inicia con una reseña histórica acerca del pavimento asfáltico drenante utilizado en países extranjeros y en El Salvador. Luego se da a conocer el planteamiento del problema así como el motivo por el cual se ha realizado la investigación (su Justificación), además se mencionan los objetivos que se pretenden alcanzar al finalizar su desarrollo.

Capítulo II “MARCO TEORICO CONCEPTUAL”

Se expone los conceptos básicos de pavimento, asfalto y mezcla asfáltica, las propiedades fundamentales del asfalto, los tipos de clasificación de las mezclas asfálticas, finalizando con los tipos de fallas que pueden ocurrir en los pavimentos de concreto asfáltico.

Capítulo III “CARACTERÍSTICAS Y METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE MEZCLAS SEMICALIENTES Y DRENANTES”

Se presentan las características que presentan una mezcla asfáltica semicaliente y drenante, y el comportamiento que se modifica en estas. Se definen los tipos de asfaltos modificados contemplados en las ASTM y las metodologías de diseño desarrolladas en diferentes países extranjeros. Se finaliza con la explicación del método Cántabro, utilizado por ser el de mayor aplicación y, a la vez, por su sencillez al utilizar la máquina de Los Ángeles para medir el desempeño de la mezcla en base a la disgregación de la mezcla.

Capítulo IV “DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE DRENANTE”

Contempla los resultados e interpretación de las pruebas realizadas a los agregados, al asfalto y a la mezcla asfáltica que contempla el método Cántabro para la determinación del contenido óptimo de ligante, así también de una evaluación de la mezcla, sobre su comportamiento a diferentes temperaturas y la permeabilidad que presenta.

Capítulo V: FABRICACIÓN, COLOCACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES DRENANTES.

Se hace una breve descripción del equipo de fabricación de la mezcla asfáltica semicaliente drenante, del equipo necesario para la compactación, de los tipos de juntas, control de la mezcla en campo para su respectiva colocación y posteriormente su compactación, así como también se hace mención de los ensayos más importantes para su control de calidad y los requisitos de aceptación de la mezcla compactada.

Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se dan las conclusiones concernientes al presente documento y las recomendaciones de aspectos importantes.

CAPITULO I:

GENERALIDADES

1.0 ANTECEDENTES¹.

Las nuevas exigencias de los tratados internacionales sobre la reducción de emisiones contaminantes, han llevado a ingenieros civiles a desarrollar nuevas tecnologías para la fabricación de pavimentos flexibles, estas comúnmente, se realizan calentando el asfalto a 170 – 180°C y los agregados a 130 – 150°C, llamando a estas producciones: Mezclas Asfálticas Calientes (MAC) o por su nombre en inglés Hot Mix Asphalt (HMA). Las MAC, por las elevadas temperaturas de fabricación, emiten gases que aumentan el “efecto invernadero” en la atmósfera, por lo que se han realizado estudios para reducir la viscosidad del betún a altas temperaturas, reduciendo la temperatura requerida de fabricación, extendido y compactación de la mezcla asfáltica. Es así como nacen las Mezclas Asfálticas Semicalientes (Warm Mix Asphalt WMA) con el que se obtienen temperaturas de fabricación del orden de los 30°C por debajo de las MAC.

Investigaciones desarrolladas en el extranjero, han diseñado nuevas capas de rodadura con mezclas asfálticas, que evitan el hidropilaje al usuario de la carretera. Esta nueva estructura es una carpeta drenante o porosa, cuyo porcentaje de vacíos es mayor que el de un concreto asfáltico denso. Además de la ventaja ya mencionada, también disminuye el ruido causado por el rodaje de los vehículos sobre la carpeta.

La experiencia en carretera panamericana, tramo San Martín - San Rafael Los Cedros (Ver Fotografía 1.1), ubicada en el departamento de Cuscatlán, es la única en El Salvador en ser construido con una capa drenante. Esta carretera interurbana fue construida el 23 de Agosto de 2004, contando con una longitud de 21.52 Km, que conecta la CA-1, conocida como la Carretera de Oro desde

¹ Seminario “Nuevas Tecnologías de Mantenimiento Vial” impartida por el Instituto Salvadoreño del Asfalto, Octubre 2009.

San Martín en la estación 16+180 hasta San Rafael Los Cedros en la estación 37+700.



Fotografía 1.1 Tramo San Martín-San Rafael Los Cedros²

Entre las características de la carretera San Martín – San Rafael Los Cedros se encuentran:

Características de la carretera San Martín – San Rafael Los Cedros.

TRAMO I. Entre el km 16+180 al 30+700 LD y 31+500 LI, la estructura de pavimento es de:

- Geo-Malla estructural bidireccional de polipropileno sobre una superficie de sub rasante preparada.
- Base granular triturada de 15 cm.
- Capa de concreto asfáltico caliente de 4cm (Binder).
- Concreto compactado con rodillo (RCC) en un espesor de 20 cm.
- Capa nivelante cerrada densa de 2cm.

² Seminario “Nuevas Tecnologías de Mantenimiento Vial” impartida por el Instituto Salvadoreño del Asfalto, Octubre 2009.

- Capa de rodadura consistente en una mezcla de concreto asfáltico en caliente (drenante) de 5cm de espesor.

Cabe mencionar, que este tramo posee aspectos especiales, como lo son:

1. Concreto Compactado con Rodillo (RCC).
2. Carpeta de Concreto Asfáltico de Granulometría Abierta (Ver Fotografía 1.2): Pavimento utilizando cemento asfáltico modificado con polímeros, aditivos mejoradores de adherencia y agregado con granulometría abierta, con agregado triturado (grueso y fino) y arena natural no mayor del 15% del agregado total.



Fotografía 1.2 Carpeta de concreto asfáltico de granulometría abierta en el tramo de carretera San Martín-San Rafael Los Cedros³.

TRAMO II. En el tramo 30+700 LD y 31+500LI al 37+700 la estructura de pavimento utilizado es de tipo flexible conformada así:

- Capa de sub base granular de 30 cm.

³ Seminario “Nuevas Tecnologías de Mantenimiento Vial” impartida por el Instituto Salvadoreño del Asfalto, Octubre 2009.

- Capa de base granular de 20cm.
- Capa de base de mezcla asfáltica en caliente de 5cm de espesor (Binder).
- Capa de rodadura de concreto asfáltico en caliente de 5cm de espesor.

A raíz del vencimiento del período de Garantía se hizo un levantamiento de daños. Los tipos de daños identificados en ambos tramos son diferentes, tal como se explica a continuación:

Fallas encontradas en el tramo I:

- Grietas longitudinales y transversales.
- Piel de cocodrilo.
- Desprendimiento de material de la carpeta.
- Grietas de orilla o de tipo “d” = losas quebradas.
- Hundimientos = ahuellamientos.
- Daños en hombros.

Fallas encontradas en el tramo II:

- Grietas de fatiga del pavimento.
- Grietas longitudinales.
- Grietas transversales.
- Ahuellamiento.
- Daños en hombros.
- Talud 12+500 lado derecho – posible falla de talud.

En total se presenta la tabla 1.1, es un cuadro resumen del inventario de daños en el tramo I:

Tipo de Daño	Área Dañada (m ²)
Baches de Hombros en Accesos	1324.88
Baches de Hombros	129.70
PCS – Grietas de Fatiga Severa	458.33
DES – Desprendimiento	4486.89
GL – Grietas Longitudinales	431.25
GT – Grietas Transversales	150.96
GO – Grietas de Orilla	508.30
GD – Grietas tipo D	1111.57
AH - Ahuellamiento	53.96
TOTAL:	8655.84 m²
Área Total de la vía	204700 m ²
Porcentaje de Daños	4.20%

Tabla 1.1. Cuadro resumen de daños en el tramo I.⁴

El área dañada en el tramo I es de 4.2% del área total, mientras que en el tramo II es de 7.0%. Estando ambos tramos en similares condiciones de carga y mantenimiento. Además, en el tramo I, los daños están distribuidos a razón de 1.09 a 1.0 entre los carriles derecho e izquierdo, mientras que en el tramo II los daños se distribuyen en proporción de 2.71 a 1.0, es decir que el tramo II ha sido más susceptible al tráfico pesado que el tramo I.

⁴ Seminario “Nuevas Tecnologías de Mantenimiento Vial” impartida por el Instituto Salvadoreño del Asfalto, Octubre 2009.

(LLUÍS TORRENTÓ SERRA, España, 2009) En el tema de las WMA, las primeras investigaciones se dieron en Alemania y Francia en 1995 pudiendo señalar las ventajas de las WMA en comparación con las MAC, pero también sus desventajas y riesgos. Los beneficios que se obtienen al trabajar con las mezclas semicalientes son básicamente medioambientales, de técnica y operacionales, y las desventajas están relacionadas con el tema económico, aunque se pueden amortizar a mediano - largo plazo.

Con respecto a las emisiones de contaminantes, que se dan en la combustión para alcanzar las altas temperaturas requeridas para la fabricación de la mezcla, la Directiva Europea de Comercio de Derechos de Emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), realizó medidas en Alemania y Francia estos últimos años y han indicado que expulsan entre un 30% y un 90% menos de lo que se emite con las MAC. Esto significa que se pueden llegar a reducir las emisiones de gases hasta un 70%, cantidad que no pasa desapercibida. Las reducciones típicas esperadas para cada uno los componentes que se generan en la combustión y en el calentamiento son las siguientes:

- El CO₂ se reduce entre un 30-40%
- El SO₂ se reduce entre un 35%
- El CO se reduce entre un 10-30%
- El NO_x se reduce entre un 60-70%
- Los COV se reducen un 50%
- La cantidad de polvo se reduce entre un 20-25%

Por lo tanto la contribución de las WMA a los objetivos marcados referentes a la reducción de los gases que provocan el efecto invernadero sería muy apreciable.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Salvador posee dos épocas climatológicas en el año, las cuales son la época seca y la época lluviosa. En esta última, el país se ve afectado por las aguas lluvias que corren a lo largo de las ciudades, que con cada nuevo proyecto constructivo, se vuelve más difícil evacuar las aguas hacia zonas de descarga.

No solo las ciudades padecen de problemas generados por las lluvias, sino también: carreteras, calles y accesos viales que se encuentra impermeabilizado con carpetas de concreto asfáltico o hidráulico.

Entre los principales problemas que se generan en las carpetas a la hora de un evento lluvioso son:

- **Hidroplaneo:**

Uno de los mayores riesgos cuando se conduce un vehículo con lluvia, es la capa de agua que se forma entre el neumático y el pavimento rompiendo el contacto entre ambos, el neumático “flota en el agua” (Ver Figura 1.1) de modo que el conductor pierde el control de su vehículo.

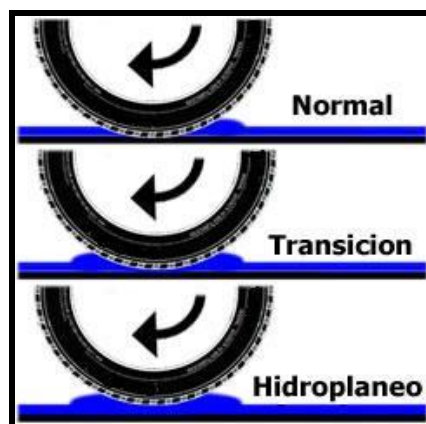


Figura 1.1 Efecto de la película de Agua sobre el contacto neumático-pavimento⁵.

⁵ Ver <http://pulsar180.com/main/modules.php>

- **Deslizamiento con pavimento mojado:**

Aún cuando no exista el hidroplaneo, la lluvia puede reducir considerablemente la resistencia al deslizamiento de la superficie del camino. Cuando llueve, la calzada se recubre de una capa de agua más o menos densa, según la intensidad de la lluvia y la rapidez con que aquella se escurre hacia los lados. Las primeras gotas de agua, al empapar el polvo que se encuentra en suspensión en el aire, o caído sobre la calzada, e incluso grasa y otros restos forman una pasta de barro, que convierte a la calzada en sumamente deslizante.

- **Las proyecciones de agua:**

La superficie del pavimento esta llena de una película de agua cuando está lloviendo, y al adherirse los neumáticos de los vehículos con el pavimento, eliminan el agua y el barro echándolo hacia atrás y hacia los lados por las ranuras laterales, produciendo el levantamiento y pulverización de esta agua lluvia, disminuyendo notablemente la visibilidad de los conductores (Ver Fotografía 1.3).



Fotografía 1.2 Proyecciones de agua⁶.

⁶ Ver <http://www.autocosmos.com.mx>

- **Deslumbramiento por los faros de los vehículos:**

Los conductores que circulan en dirección contraria durante la noche se ven enfrentados al deslumbramiento debido a la reflexión de la luz en los pavimentos mojados tradicionales (superficie lisa) y se ve reducida la visibilidad de la señalización horizontal.

- **Ruido al paso del vehículo:**

Este problema es provocado cuando la carpeta se encuentra seca ya que el conductor y el entorno de una carretera se ven afectados por el ruido que genera el contacto entre el neumático y el pavimento seco cuando el vehículo está en movimiento, provocando distracción en el conductor y contaminación sonora al entorno. Este problema se es aumentado cuando la carpeta de rodadura se encuentra mojada.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una mezcla asfáltica para carpetas de rodadura que provea a los usuarios mayor seguridad y comodidad ante eventos lluviosos, y que genere menor contaminación ambiental.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dar a conocer las ventajas y desventajas que posee una mezcla semicaliente drenante.
- Aplicar las normas colombianas para el diseño de mezclas drenantes.

- Diseñar una granulometría que proporcione la cantidad de vacíos requerido para una mezcla drenante.
- Utilizar un ligante que proporcione mayor viscosidad a mayores temperaturas, que las convencionales.
- Determinar el porcentaje óptimo del ligante asfáltico modificado para la mezcla drenante elaborando briquetas con diferentes puntos de asfalto y ensayarlas con base en el método Cántabro.
- Medir las cualidades cohesivas, susceptibilidad térmica, adherencia agregado-cemento asfáltico y la resistencia al envejecimiento como una relación de la pérdida por desgaste sufrida en las briquetas.
- Evaluar la susceptibilidad térmica de la mezcla frente a las temperaturas que soportan las carpetas asfálticas en El Salvador.
- Determinar la permeabilidad de la mezcla en cm/seg, elaborando briquetas con diferentes puntos de asfalto.
- Describir y proponer técnicas para la colocación y acabado de mezclas drenantes durante el proceso constructivo.

1.4 ALCANCES GLOBALES

Actualmente el proceso de fabricación, colocación y compactación de mezclas asfálticas se lleva a cabo a temperaturas elevadas, llamado a este procedimiento “en caliente”. Para contribuir en el desarrollo de la infraestructura vial de El Salvador, se busca otra alternativa de proceso de fabricación y

colocación de mezclas asfálticas, de tal forma que sea más económica y amigable al medio ambiente, comparadas con las actualmente utilizadas.

Se tomará como referencia los países de Colombia, Chile y Argentina que actualmente trabajan con mezclas asfálticas semicalientes y drenantes pero adaptando dichos estudios a las condiciones climáticas y de cargas de tránsito de El Salvador.

Para realizar el diseño de la mezcla asfáltica semicaliente drenante, se utilizará el equipo de laboratorio de pavimentos de la planta “ASFALCA”, ubicada en Kilómetro 39 Carretera a Sonsonate, Cantón 3 Ceibas, Armenia, Sonsonate.

En el laboratorio de la planta, se utilizará el método Cántabro para medir el desempeño de la mezcla asfáltica con ligante modificado. Se analizarán las propiedades de la mezcla drenante, para determinar aquella proporción de ligante que presente mejores resultados.

1.5 LIMITACIONES

- Se realizará el diseño de la mezcla asfáltica semicaliente drenante en laboratorio, sin poder determinar su comportamiento en campo por medio de un tramo de prueba.
- Los ensayos a realizar están limitados por el equipo del laboratorio de “ASFALCA”, por lo que se dependerá del horario de trabajo de la empresa.
- Se adaptarán las normas colombianas de mezclas asfálticas drenantes a las condiciones de trabajo del país ya que no existen normativas salvadoreñas respecto a estas mezclas.
- En el ensayo de susceptibilidad térmica, las probetas serán sometidas en un rango de temperaturas a las cuales son afectadas las carreteras de El Salvador, sin determinar su comportamiento a temperaturas de clima frío.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La razón por la cual se desea realizar el presente trabajo de grado “Diseño de Mezclas Asfálticas Semicalientes Drenante en El Salvador”, es para dar a conocer a los entes gubernamentales, ingenieros civiles, técnicos en pavimentos y demás personas interesadas en el tema, la existencia de otra alternativa de fabricación, colocación y compactación de pavimentos flexibles que es amigable con el medio ambiente y que además proporcione mayor seguridad y comodidad a los usuarios.

Se pretende dar a conocer una mezcla que combine las ventajas de una mezcla drenante con las propiedades de una mezcla semicaliente, ésta debe ser capaz de mejorar el drenaje en las carreteras y reducir la temperatura de fabricación, manteniendo el porcentaje de vacíos de la mezcla drenante.

Al diseñar un pavimento flexible con la cualidad que sea drenante, se le está brindando al conductor una mayor seguridad al conducir, con ello se está evitando los accidentes automovilísticos causados por el hidroplaneo durante las lluvias. Cuando la estructura es drenante se proporciona mayor adherencia llanta-pavimento, tanto en estado seco como húmedo.

Diseñando un pavimento flexible que pueda ser fabricado a menor temperatura que las convencionales MAC, se reduce la cantidad de combustible a utilizar. Esto se ve reflejado en una mejor economía, minimiza la cantidad de emisión de compuestos orgánicos volátiles debido al calentamiento del betún y gases contaminantes de la combustión, entre los que destacan NO₂, SO₂ y CO₂.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1 DESARROLLO DE CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES⁷

2.1.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas producidas por el tránsito y las transmiten a los estratos inferiores de manera distribuida, proporcionando una superficie de rodamiento que debe trabajar eficazmente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia que controle las cargas para evitar el agrietamiento, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los efectos abrasivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías; además, que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza y consecuentemente más económicos. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, cuando se determina el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas dependerá del material que la constituye y el procedimiento constructivo; dos factores importantes son la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas de tráfico, produciendo deformaciones permanentes.

⁷ Tesis "Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente" José Mauricio Cortez, Hugo Wilfredo Guzmán, Amílcar Daniel Reyes.

2.1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS

Básicamente existen dos tipos de pavimentos:

- Rígidos.
- Flexibles.

2.1.2.1 Pavimento Rígido

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

2.1.2.2 Pavimento Flexible

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base.

2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE ASFALTO

2.2.1 DEFINICION DE ASFALTO.

Los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presentan en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

Casi todo el asfalto usado es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características

distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.

El asfalto cambia cuando es calentado a temperatura muy elevada y/o es envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

2.2.2 PROPIEDADES FISICAS DEL ASFALTO.

Antes que el intercambio de crudo en el mercado fuera algo cotidiano, las refinerías rara vez cambiaban sus fuentes de abastecimiento de crudo. Esto llevo a que las fuentes de asfalto tuvieran propiedades consistentes. Al integrar el cambio del abastecimiento de crudo de las refinerías se crearon más variaciones en las propiedades del asfalto, tanto físicas como químicas. De estas variaciones, surgió la necesidad de poder evaluar el comportamiento del asfalto ante condiciones particulares y predecir su rendimiento por medio de sus propiedades geológicas. Aun así, algunas propiedades físicas y químicas siguen siendo constantes en todos los tipos de asfaltos.

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: adhesión, cohesión, susceptibilidad a la temperatura y durabilidad.

2.2.2.1 Adhesión y cohesión

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado, en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ligante bituminoso debe ser capaz de envolver a los áridos, dar cohesión a la mezcla y resistir la acción de desmenuamiento del agua (Figura 2.1), tal efecto produce una separación del ligante con el árido disminuye así la cohesión de la mezcla.



Figura 2.1 Acción de desmenuamiento del agua⁸

⁸ <http://www.circulaseguro.com/via-y-climatologia/por-que-ocurre-el-aquaplaning>

2.2.2.2 Susceptibilidad Térmica.

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (mas viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más valiosa en un asfalto.

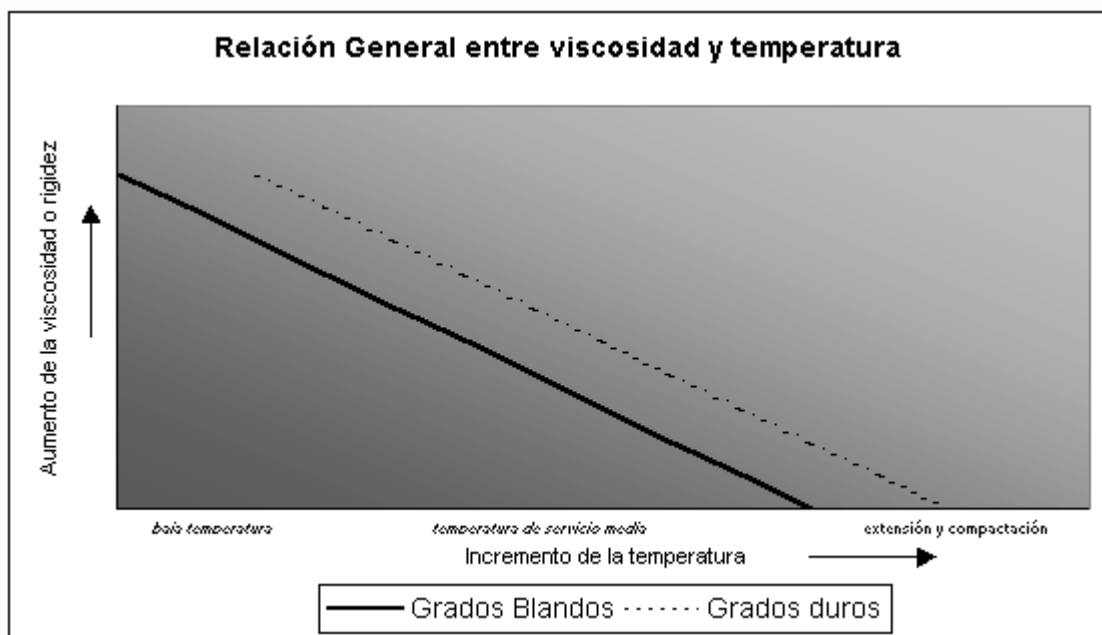


Figura 2.2 Influencia de la temperatura en el comportamiento de los ligantes asfálticos⁹.

Es importante conocer la susceptibilidad a la temperatura utilizada, ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera.

Debe entenderse que es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda

⁹ Investigación "Evaluación de las propiedades de los Asfaltos modificados con polímeros" A.Chiman, L.Sanabria, L.Hernandez, L.Chiman

cubrir las partículas de agregado durante el mezclado y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

2.2.2.3 Durabilidad.

Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la durabilidad del asfalto. Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para la durabilidad del asfalto. Estas son la Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO).

2.2.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO.

El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras.

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno; casi en su totalidad solubles en sulfuro de carbono. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfáltenos y máltenos. (Ver Figura 2.3.)

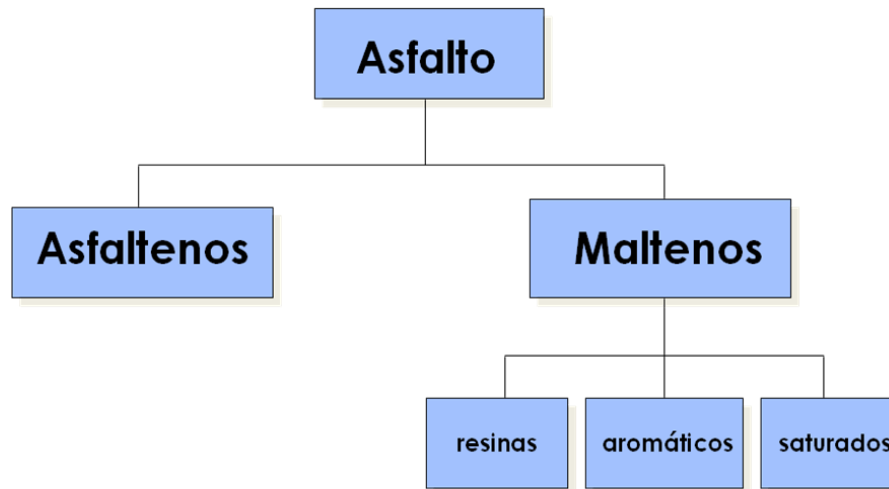


Figura 2.3 Composición del asfalto¹⁰.

- a) **Los asfaltenos**, son compuestos químicos orgánicos y representan los compuestos más pesados y por tanto de mayor punto de ebullición. Una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza y se encuentran disueltos en los maltenos, es decir es la fase discontinua del asfalto.
- b) **Los maltenos**, son líquidos viscosos formando la fase continua del asfalto. Su contenido se asocia a las propiedades mecánicas mostradas por el asfalto. Generalmente, existe mayor proporción de maltenos que de asfaltenos en los asfaltos. El mayor contenido de maltenos y su naturaleza química son las que le dan la calidad a un asfalto. Los maltenos se subdividen en:

¹⁰ Tesis “Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente”
José Mauricio Cortez, Hugo Wilfredo Guzmán, Amílcar Daniel Reyes.

- Resinas: moléculas intermediarias en el asfalto, proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto. Son sólidos o semisólidos de color negro.
- Aromáticos: son líquidos viscosos de color negruzco e influye en la facilidad que tiene un asfalto para “admitir” polímeros modificadores. Los aromáticos constituyen de un 40% al 65% el total del asfalto.
- Saturados: son aceites viscosos de coloración amarillenta, en el cual flotan como islas los máltenos y asfáltenos.

Describiendo la estructura del coloide, las resinas circundan en forma inmediata a los asfáltenos y los aceites rodean a ese compuesto (ver figura 2.4)



Figura 2.4 Estructura coloidal del asfalto¹¹.

¹¹ Seminario “Mezclas Asfálticas en Caliente” impartida por el Instituto Salvadoreño del Asfalto en Agosto de 2009.

La proporción de asfáltenos y máltenos en el asfalto puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado.

2.3 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO¹²

La clasificación de los cementos asfálticos, ha girado alrededor de las propiedades físicas de los mismos, determinados a través de métodos de ensayos que en su mayoría son empíricos; lo anterior, principalmente debido a la complejidad y variabilidad de las propiedades o características químicas de los asfaltos. Los sistemas tradicionalmente utilizados para la clasificación de los asfaltos corresponden a:

1) Sistema de Clasificación por Penetración y

2) Sistema de Clasificación por Viscosidad.

2.3.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR PENETRACIÓN

El método de penetración fue el primer sistema desarrollado para la clasificación de asfaltos y todavía es utilizado por diferentes agencias de carreteras en la región. Dicho sistema fue desarrollado en 1918 por el Bureau of Public Works (ahora Federal Highway Administration, FHWA), y posteriormente en 1931, la AASHTO publicó las primeras especificaciones técnicas para la clasificación de asfaltos por penetración. Asimismo, en 1921 la ASTM desarrolló la primera especificación para cementos asfálticos clasificados por penetración para propósitos de pavimentación, la cual sufrió un cambio significativo en 1968, al reducir el número de tipos de cemento asfáltico de 10 a 5.

¹² ESCOBAR MORALES, *Selección del tipo de cemento asfáltico para producir mezclas asfálticas en caliente en El Salvador*, Viceministerio De Obras Públicas, El Salvador, 2010.

Cabe señalar que la clasificación del asfalto por penetración, conlleva el desarrollo de una serie de ensayos de laboratorio, los cuales están contemplados en la norma ASTM D 946, “Standard Specification for Penetration-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction”. A continuación, en la Tabla 2.1, se presentan las características físicas que deben cumplir los cementos asfálticos, para ser clasificados de acuerdo a la norma ASTM D 946.

Ensayo	Norma de ensayo ASTM	Clasificación por Penetración (Grados de Penetración)									
		40 - 50		60 - 70		85 - 100		120-150		200-300	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Penetración (0.1mm)	D 5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Flash Point (°C)	D 92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad (cm)	D 113	100	---	100	---	100	---	100	---	100	---
Solubilidad (%)	D 2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Ensayos en Residuo de asfalto, después de ensayo de Película Delgada, ASTM D 1754.											
Penetración (%)	D 5	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad (cm)	D 113	---	---	50	---	75	---	100	---	100	---

Tabla 2.1. Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 946-82.¹³

2.3.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD

El sistema de clasificación por viscosidad fue introducido a principios de la década de 1960, mediante el cual es posible clasificar cementos asfálticos en estado virgen y en residuos asfálticos. Dicho sistema de clasificación fue concebido debido a las limitantes que presenta el sistema de clasificación por penetración, que posee la imposibilidad de evaluar la susceptibilidad térmica del asfalto o no poder evaluar el comportamiento del mismo a temperaturas normales de operación de la mezcla asfáltica.

¹³ ASTM D 946, Standard Specification for Penetration-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction

Los ensayos requeridos para la clasificación del asfalto, están contemplados en la norma ASTM D 3381, “Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction”. Dentro de esta especificación se encuentran los asfaltos clasificados por Viscosidad (AC) y Residuo asfáltico (AR), los cuales se detallan a continuación:

a) Viscosidad (AC). Los ensayos se realizan en el asfalto original (virgen), entre los asfaltos clasificados por viscosidad, tenemos los siguientes: AC 5, AC 10, AC 20, AC 30, AC 40.

A continuación, en la Tabla 2.2, se presentan las características físicas que deben cumplir estos asfaltos:

Ensayo	Norma de ensayo ASTM	Clasificación por Viscosidad (Grados basados en asfalto original)									
		AC - 5		AC - 10		AC - 20		AC - 30		AC - 40	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Viscosidad Absoluta (Poise)	D 2171	400	600	800	1200	1600	2400	2400	3600	3200	4800
Viscosidad Cinemática (cSt)	D 2170	175	---	250	---	300	---	350	---	400	---
Penetración (0.1 mm)	D 5	140	---	80	---	60	---	50	---	40	---
Flash Point (°C)	D 92	177	---	219	---	232	---	232		232	
Solubilidad (%)	D 2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Ensayos en residuo de asfalto, después de ensayo de Película Delgada, ASTM D 1754											
Viscosidad Absoluta (Poise)	D 2171	2,500	---	5,000	---	10,000	---	15,000	---	20,000	---
Ductilidad	D 113	100	---	75	---	50	---	40	---	25	---

Tabla 2.2. Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 3381.¹⁴

¹⁴ ASTM D 3381, Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction

b) Residuo (AR). Los asfaltos clasificados por residuo son más conocidos como asfaltos clasificados por viscosidad después de envejecido, entre los cuales se encuentran los siguientes: AR-1000, AR-2000, AR-4000, AR-8000 y AR-16000. A continuación, en la Tabla 2.3, se presentan las características físicas que deben cumplir estos asfaltos:

Ensayo	Norma de ensayo ASTM	Clasificación en Residuo Asfáltico (Grados basados en residuo asfáltico)									
		AR - 1000		AR - 2000		AR - 4000		AR - 8000		AR - 16000	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Viscosidad Absoluta (Poise)	D 2171	750	1250	1500	2500	3000	5000	6000	10000	12000	20000
Viscosidad Cinemática (cSt)	D 2170	140	---	200	---	275	---	400	---	550	---
Penetración (0.1 mm)	D 5	65	---	40	---	25	---	20	---	20	---
% de penetración original		---		40		45		50		52	
Ductilidad		100		100		75		75		75	
Pruebas sobre el asfalto original											
Flash Point (°C)	D 92	205	---	219	---	227	---	232	---	238	---
Solubilidad (%)	D 2042	99.0		99.0		99.0		99.0		99.0	

Tabla 2.3. Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 3381.¹⁵

2.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS¹⁶

2.4.1 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

¹⁵ ASTM D 3381, Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction

¹⁶ Documento “Mezclas Asfálticas”, ALEJANDRO PADILLA RODRÍGUEZ, Universidad Politécnica De Catalunya, España.

continúa de éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, en las capas inferiores de los pavimentos para tráficos pesados intensos, entre otros.

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.

2.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

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

2.4.2.1 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.

2.4.2.2 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 y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

2.4.2.3 Por la Proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia de las cargas y de las variaciones térmicas.

- **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 supera el 20%.

2.4.2.4 Por el Tamaño Máximo del Agregado Pétreo.

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

2.4.2.5 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.

2.4.2.6 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.

A continuación en la tabla 2.4 se presenta un resumen de los tipos parámetros de clasificación de las 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

Tabla 2.4. Clasificaciones de las Mezclas Asfálticas¹⁷.

2.4.3 TIPOLOGÍA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.4.3.1 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.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas

¹⁷ Capítulo 3 “Mezclas Asfálticas”, Alejandro Padilla Rodríguez.

inferiores de los pavimentos. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se 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 peso de agregados pétreos.

2.4.3.2 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 usan además en las bases y capas intermedias, su mayor utilidad esta en el mantenimiento, llámese reciclado, microsurfacing o estabilización.

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.

2.4.3.3 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.

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.

2.4.3.4 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.

2.4.4 METODOS DE MEZCLADO.

Según el método constructivo, las mezclas asfálticas se dividen en dos grupos: Mezclas en planta y mezclas en sitio.

2.4.4.1 Mezcla en Planta.

Mezcla en planta es la mezcla de árido y asfalto en una planta central generalmente de alto rendimiento. Los aspectos más comunes para clasificar una planta de asfalto son:

- El tipo de proceso: estas se dividen en plantas continuas y discontinuas (“bachada”).
- El sentido de secado: las plantas pueden ser en sentido o flujo paralelo y en contra-flujo.
- La forma de mezclado: existen las plantas de mezcla en frío y las de mezcla en caliente.

Según el tipo de proceso: Las plantas continuas (ver fotografía 2.1), como lo indica su nombre, operan en una línea de producción continua, donde el agregado y el producto pasan de una etapa a otra sin detenerse en el proceso, de manera que la mezcla se entrega de forma continua en la descarga.



Fotografía 2.1 Planta de asfalto continua de flujo paralelo¹⁸.

¹⁸ <http://www.construpages.com/espanol/products/planta-de-asfalto-continua-de-flujo-paralelo.html>

En el proceso discontinuo (ver fotografía 2.2) o de bachada, (el término bachada se deriva del inglés batch que significa hornada o lote), se caracteriza por que en uno o más puntos del proceso se "arman paquetes" de material para someterlos a un proceso puntual, clasificación, acumulación, pesaje o mezcla, para seguir a otro punto en el que el paquete será sometido a un proceso diferente, de manera que habrá un proceso continuo en el que los sub-procesos se realizan por paquetes y habrá segundos en los que no se entrega nada de mezcla y otros en los que se entrega un "batch" de producto.



Fotografía 2.2. Planta asfáltica discontinua¹⁹.

Según el sentido del secado:

En las plantas de secado por sentido o flujo paralelo (ver fotografía 2.1), los materiales ingresan al tambor secador en el sentido de ingreso de la llama y fluyen en sentido paralelo al del tránsito de los gases.

En las plantas de secado a contra-flujo (ver fotografía 2.3) sucede todo lo contrario, los agregados ingresan al tambor secador por el extremo opuesto a la llama y fluyen en contra-sentido de los gases del sistema, estos sistemas tienen la particularidad de permitir que el secado se realice a menores temperaturas y por ende consumiendo menor cantidad de combustible.

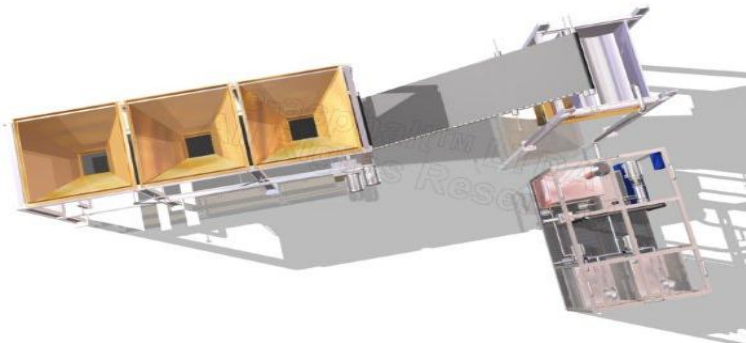
¹⁹ http://www.resansil.com/ciber/ciber_discontinua.htm



Fotografía 2.3 Planta Asfáltica de secado a contra flujo²⁰.

Según el tipo de mezclado:

En las mezclas en frío (ver fotografía 2.4) se usan asfaltos líquidos, por lo cual la mezcla se efectúa sin calentar los agregados y el asfalto se calienta a una temperatura relativamente baja, solo para obtener la viscosidad necesaria de mezclado.



Fotografía 2.4 Planta asfáltica de mezclado en frío²¹.

Las mezclas en caliente son las de mayor estabilidad de todas las mezclas asfálticas y consisten en mezclar el agregado pétreo y el cemento asfáltico a alta temperatura (135 a 165°C). Estas últimas se dividen en mezcla en el tambor secador y mezcla externa, las de mezcla en el tambor, comúnmente

²⁰ http://www.resansil.com/ciber/ciber_contraflujo.htm

²¹ http://ingenieria-civil2009.blogspot.com/2009/04/mezclas-en-frio-tipo-concreto-asfaltico_28.html

llamadas drum-mix (ver fotografía 2.5), mezclan los agregados con el asfalto, bien sea en un módulo continuo, llamado tambor secador-mezclador o en un módulo concéntrico pero aislado de la zona de secado, al cual algunos llaman doble barril.

Las plantas de mezcla externa se caracterizan por que el proceso de mezclado se realiza en una unidad mezcladora independiente del tambor secador, los mezcladores más comunes son el de tipo tambor y el de ejes gemelos, funcionalmente el principio del mezclador de tipo tambor es que divide el tradicional tambor secador-mezclador en 2 tambores independientes que realizan sus funciones separadamente, al separar las operaciones de secado y mezclado se elimina totalmente el riesgo de oxidación del asfalto por contacto con la llama, existente en los modelos muy antiguos de planta drum-mix, riesgo resuelto pero heredado culturalmente en los modelos modernos y automatizados.



Fotografía 2.5. Planta asfáltica tipo drum-mix²².

²² <http://spanish.alibaba.com/product-tp/mobile-continuous-type-drummix-asphalt-plant.html>

2.4.4.2 Mezcla en Sitio.

Una mezcla en sitio (ver fotografía 2.6) es una carpeta asfáltica que se produce mezclando árido con asfalto líquido en la misma faja del camino, mediante motoniveladora o alguna maquinaria especial que efectúe el trabajo.



Fotografía 2.6. Mezcla en sitio²³.

2.4.5 SELECCIÓN 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.

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

- a) 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 (rodadura, intermedia o base) y espesor, naturaleza de las

²³ <http://www.informador.com.mx/jalisco/2010/177287>

capas subyacentes, intensidad del tráfico pesado, clima, etc. Asimismo, hay que distinguir si se trata de un pavimento 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, pero depende de la función de la capa y de las condiciones del entorno.
- 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 pavimento, 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.

Existen también principios que se aplican de acuerdo con las siguientes reglas:

a) Tipo de mezclas asfálticas según su composición granulométrica.

El tipo de mezcla asfáltica a emplear se determinará en función de:

- La capa de pavimento a que se destine.
- La categoría del tráfico.

b) Tipo de ligante asfáltico.

El tipo de ligante asfáltico a emplear dependerá de:

- La capa de pavimento a que se destine la mezcla.
- El tipo de mezcla.
- La categoría del tráfico.
- El clima de la zona en que se encuentre la carretera.

c) Relación Fíller /Asfalto.

La relación ponderal de los contenidos de fíller y asfalto de la mezcla asfáltica, dependerá de:

- La capa de pavimento a que se destine la mezcla.
- El tipo de mezcla.
- La categoría del tráfico.
- La zona en que se encuentre la carretera.

2.4.6 TIPOLOGIAS DE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Los deterioros de los pavimentos asfálticos se deben a una serie de factores como lo pueden ser el medioambiente (lluvia, gradientes de temperatura), tráfico (cargas por eje, presión de inflado de los neumáticos, intensidad), materiales inadecuados, procesos de elaboración de las mezclas inapropiados, técnicas de construcción deficientes (transporte, extensión y compactación), fórmula de trabajo deficiente.

Todos estos defectos se pueden detectar una vez que se haya concluido la obra, como por ejemplo una mala textura superficial, geometría, aspecto y también estos defectos se pueden detectar en un periodo considerable de tiempo durante la vida de servicio del pavimento. Se mencionan a continuación los deterioros o fallos debidos solamente a formulaciones defectuosas de las mezclas asfálticas y de su puesta en obra.

2.4.6.1 Fallos en la Construcción

Durante la fase de construcción y puesta en obra de las mezclas asfálticas se pueden producir errores y fallos accidentales, como:

1. La segregación de la mezcla del pavimento, que a su vez se puede clasificar en los tipos siguientes:
 - Segregación aleatoria.
 - Segregación transversal.
 - Segregación longitudinal, bien sea en el centro o en los lados.
2. Defectos en las mezclas difíciles de compactar.

Los dos tipos extremos de mala compactibilidad de las mezclas ocurren con las poco trabajables y con las blandas.

Las mezclas poco trabajables presentan el mayor peligro, suponiendo que su comportamiento estructural sea el previsto, en la necesidad de que la compactación sea enérgica y contundente sin llegar a romper las partículas minerales. Una mala densidad final reduce la durabilidad notablemente.

Las mezclas blandas se caracterizan por la dificultad de compactación al responder como un material parcialmente plástico ante las pasadas de los rodillos, con fenómeno similar al colchoneo.



Fotografías 2.7. Fallos en la Construcción de pavimentos asfálticos²⁴.

2.4.6.2 Exudaciones

La exudación se caracteriza por la presencia de ligante libre o polvo mineral incorporado en la superficie del pavimento. Las superficies ricas en asfalto, especialmente en tiempo húmedo, pueden llegar a ser deslizantes si han perdido su textura. Las causas de las exudaciones son las siguientes:

- Exceso de ligante asfáltico en una o mas capas del pavimento.
- Escaso contenido de vacíos.

²⁴ Capitulo 3 "Mezclas Asfálticas", Alejandro Padilla Rodríguez.

- En tiempo caluroso, el sobrepaso del tráfico puede ejercer presión adicional sobre el pavimento que contiene demasiado asfalto forzándolo hacia la superficie.



Fotografías 2.8. Exudación en pavimento asfáltico²⁵.

2.4.6.3 Segregaciones

La segregación, disgregación y peladura, es la separación de las partículas minerales de la superficie del pavimento. El agregado fino, se separa de las partículas de mayor tamaño, lo que da lugar a una apariencia de capa de pavimento erosionada y rugosa. Entre las causas de este defecto se encuentran:

- Los esfuerzos cortantes horizontales en la superficie de rodadura, debidos a la acción de los neumáticos de los vehículos.
- La entrada de agua en el pavimento a través de los huecos de la propia mezcla. La presión hidrostática considerable creada por las sollicitaciones del tráfico puede causar la separación de las partículas minerales de la capa superficial.
- El bajo contenido de ligante asfáltico.

²⁵ Capitulo 3 “Mezclas Asfálticas”, Alejandro Padilla Rodríguez.

- La alta viscosidad del ligante asfáltico que llega a producir una mezcla frágil.
- El sobrecalentamiento en la manipulación, que haya envejecido al ligante asfáltico.
- La mala granulometría de la mezcla con insuficiencia de finos.

Las segregaciones importantes pueden crear una dificultad al tráfico. Aparte de la incomodidad para los vehículos, estos suelen producir un incremento en el mismo deterioro.

La segregación en la superficie puede clasificarse en los tipos siguientes:

1. Segregación aleatoria, que tiene un origen más difícil de determinar. Sus causas pueden ser:
 - No disponer de acopios uniformes.
 - Vertidos en los dosificadores en frío.
 - Error en la carga del árido en los dosificadores en frío.
 - Demasiadas operaciones de arrancado y parada en las plantas de tambor secador.
 - Diferencias notables de nivel en la mezcla almacenada en el silo.
 - Operaciones irregulares en la descarga de los camiones.
 - Demanda descompensada de la extendedora.
2. Segregación transversal, se pone de manifiesto con una peculiar mancha en la superficie. El grado de segregación se cuantifica por los cambios de textura y es fácilmente reconocible. Esta segregación puede ser debida a:
 - Empleo del material inicial que proviene del arranque de la planta.

- Inadecuadas operaciones de carga de los camiones.
- Vaciado excesivo y mal manejo de las alas de las tolvas de las extendedoras.
- Material segregado en la tolva de carga de las plantas.
- Compuertas de la mezcladora mal cerradas.
- Almacenamiento de los dosificadores primarios al límite de su capacidad.



Fotografías 2.9. Segregación Transversal en Pavimento Asfáltico²⁶.

3. Segregación longitudinal, bien sea en el centro o en los lados, se puede producir en el centro de la banda extendida o en los bordes, y puede deberse a defectos en los husillos o a una velocidad inadecuada de la extendedora.

²⁶ Capítulo 3 “Mezclas Asfálticas”, Alejandro Padilla Rodríguez.



Fotografías 2.10. Segregación longitudinal en pavimento asfáltico²⁷.

2.4.6.4 Desenvuelta o Desplazamiento de los Agregados Pétreos

El ligante es desplazado por el agua o por el vapor de agua y a veces por la combinación de algún agente que haya contaminado el pavimento, lo que produce disminución de la adhesividad entre el ligante asfáltico y la superficie mineral de las partículas.

En escasas ocasiones el desplazamiento se acompaña de manchas exudadas del ligante en la superficie del pavimento. A veces al fenómeno anterior se añade el de la concentración de ligante en algunos puntos.

Existen diferentes causas por las que el agua puede desplazar al asfalto en su contacto con las superficies minerales del agregado:

- Agua interior o exterior al agregado pétreo: Los agregados en muchas ocasiones no se han secado completamente en la planta asfáltica.
- Tipo de agregado pétreo: Los agregados con altos contenidos de sílice, son más sensibles a estar sometidos a los efectos del agua en los fenómenos de desplazamiento de ligante que los agregados calizos.

²⁷ Capítulo 3 "Mezclas Asfálticas", Alejandro Padilla Rodríguez.

- Agregados sucios: El ligante no se adhiere bien a las partículas que tienen una película de polvo. En presencia de agua, estas partículas se descubren rápidamente por lo que el polvo permite fácilmente la entrada de agua en la superficie mineral.
- Emulsificación: El ligante sometido a la acción abrasiva del tráfico, puede emulsionarse especialmente con agentes químicos o minerales presentes, tales como polvo arcilloso.
- Agua libre: El agua libre existe como consecuencia de un drenaje inadecuado del pavimento. En algunos casos, especialmente en capas superiores, el agua puede quedar atrapada durante la construcción.

2.4.6.5 Textura Superficial Inadecuada

La textura de la superficie de rodadura es una característica esencial para la seguridad de la rodadura de los vehículos. Se ha convenido en distinguir unas texturas tipo, según su profundidad media:

1. Microtextura, con profundidad media en círculo de arena de aproximadamente 0.4.
2. Macrotextura, con profundidad media en círculo de arena de aproximadamente 0.7.
3. Megatextura.
4. Combinación posible de las anteriores texturas.

Las causas de una textura superficial inadecuada son las siguientes:

- Pulimento de los agregados, por ser blandos.
- Granulometría con excesivos finos.
- Exceso de ligante en superficie.

- Segregaciones de la mezcla en la puesta en obra.
- Contaminaciones de la superficie.

Una mala megatextura se debe relacionar con defectos en la extensión de la capa de mezcla o con las irregularidades reflejadas de la capa inferior.



Fotografías 2.11. Textura superficial inadecuada en pavimentos asfálticos²⁸.

2.4.6.6 Agrietamientos y Fisuras

El agrietamiento y fisuración es un mecanismo habitual de fallo mecánico por fatiga de una capa de pavimento. Aparte de ello, las grietas prematuras indican un problema de diseño o de construcción de la mezcla asfáltica. Las causas suelen ser:

- Las grietas se producen por tensiones mayores que la tensión de rotura de la mezcla.
- Las grietas comienzan en la zona donde la tracción por flexión es máxima y progresan bajo las cargas repetidas. Se suele formar un mapa de grietas formado por un conjunto de grietas longitudinales y transversales.
- La deformación elástica transversal se produce con las flexiones de la capa de pavimento. La grieta inicial comienza longitudinalmente al lado

²⁸ Capítulo 3 "Mezclas Asfálticas", Alejandro Padilla Rodríguez.

exterior de la huella de la rueda. Esta grieta es seguida por otra paralela en el borde interior de la huella.

- El uso del asfalto de alta viscosidad puede ocasionar que las mezclas sean menos resistentes al efecto acumulado de las flexiones.
- Los cambios extremos de temperaturas pueden causar en un pavimento cambios de volumen que producen grietas térmicas que, usualmente son transversales.
- La combinación de grietas longitudinales y transversales, puede formar elementos o losas rectangulares independientes. Aunque la causa de este agrietamiento no sea debido a las cargas, una vez producido, las sollicitaciones del tráfico incrementarán severamente el deterioro al haber perdido las capas su continuidad física y resistente.
- También se producen grietas longitudinales en las juntas de trabajo. Ocurren cuando las juntas se compactan de forma insuficiente y/o a baja temperatura.
- Las grietas aleatorias por fatiga, se suelen formar por la fatiga de la mezcla asfáltica en alguna de las capas. Estas grietas están relacionadas con las sollicitaciones del tráfico. Las grietas comienzan en la parte inferior de las capas donde las tensiones son más altas, formándose una o dos grietas longitudinales próximas a las huellas de las ruedas y terminan con un estado generalizado de superficie agrietada. Normalmente la fatiga es más acusada en la parte externa del carril con más tráfico, debido a las condiciones de borde.
- Las grietas generalizadas en las zonas de rodadura pueden ser causadas también por una inadecuada compactación, o mal diseño, de las capas inferiores que puede agravarse con la presencia de agua, más

que por típico fenómeno de fatiga. En éste caso, en la capa inferior se refleja el asentamiento, deformación o agrietamiento causado por las malas prestaciones mecánicas.



Fotografías 2.12. Agrietamientos y Fisuras en pavimentos asfálticos²⁹.

2.4.6.7 Bombeo de Finos

Puede producirse en las grietas de las capas superiores asfálticas rígidas, si el soporte tiene exceso de finos, humedad u otras contaminaciones. También se ha detectado muy frecuentemente el fenómeno en las grietas reflejadas de las bases tratadas con cemento, línea débil por la que penetra el agua, deteriorando la base.

²⁹Capítulo 3 “Mezclas Asfálticas”, Alejandro Padilla Rodríguez.



Fotografías 2.13. Bombeo de finos en pavimentos asfálticos³⁰.

2.4.6.8 Deformaciones Plásticas.

Son las variaciones permanentes del perfil superficial de la capa de mezcla asfáltica por acumulación de deformaciones permanentes y/o por desplazamiento de la masa de la misma. Son de distintos tipos:

1. El arrollamiento se asocia normalmente a una baja estabilidad de las mezclas que se manifiesta en una deformación plástica perpendicular al eje de la vía.
2. El ahuellamiento, que se produce transversalmente, en la huella de las ruedas de los vehículos con densificación y/o desplazamiento lateral.

El ahuellamiento puede describirse de la siguiente forma:

- Ahuellamiento con desplazamiento plástico, con una depresión cerca del centro de la carga aplicada y con elevaciones a cada lado de la depresión. Este tipo de ahuellamiento está causado generalmente por bajo contenido de huecos en la mezcla (menos del 3%). En este caso, una sobrecompactación ocasiona que el ligante rellene los huecos entre las partículas. También el betún actúa como un lubricante más que como un ligante en época calurosa.

²¹ Capítulo 3 "Mezclas Asfálticas", Alejandro Padilla Rodríguez.

- Ahuellamiento por consolidación. Son unas depresiones cerca del centro de la carga aplicada sin el acompañamiento de las elevaciones laterales. Este ahuellamiento se producen generalmente por un alto contenido de huecos con falta de estabilidad de la mezcla.
- Deformación mecánica. Es el resultado de un asentamiento de las capas inferiores que puede acompañarse de grietas en las capas de pavimento. Este fallo ocurre cuando la estructura del pavimento no está bien proyectada o construida.

El material puede también desplazarse por deslizamiento de las capas inferiores debido a presiones horizontales. Este desplazamiento está causado algunas veces por suciedad, contaminaciones o excesiva cantidad de ligante en el tratamiento de adherencia de la superficie inferior. El desplazamiento puede ocurrir en la unión de un pavimento rígido y un pavimento asfáltico tal como sucede en algunas losas de aproximación de los puentes. Este desplazamiento ocurre frecuentemente en las zonas de las intersecciones En curva donde las fuerzas horizontales de los vehículos son más elevadas.

Las causas de las deformaciones plásticas son las siguientes:

- Contenido inadecuado de vacíos en las mezclas convencionales (menos del 3%).
- Excesivo contenido de vacíos (mayor del 8%) si son mezclas densas.
- Baja viscosidad de los ligantes asfálticos.
- Errores en el proyecto de la mezcla, ya que las propiedades del ligante no son las mismas a la temperatura de los ensayos que a la temperatura del servicio en obra. En definitiva se dispone de un ligante más blando que el que estaba previsto.
- Insuficiente estabilidad del material todavía caliente cuando se ha permitido el paso anticipado del tráfico.

- Excesiva consolidación bajo tráfico de las capas del pavimento.
- Tiempo de aplicación de la carga más prolongado que el previsto. Las mezclas bituminosas tienen respuestas más elásticas a las cargas de corta duración y menos elásticas a las cargas lentas. Por ésta razón, las deformaciones plásticas se presentan sobre todo en las rampas y en otras zonas de tráfico lento.
- Factores de la formula de la mezcla tales como un contenido de arena natural, un bajo contenido de filler, y la existencia de partículas minerales redondeadas.
- Insuficiente dureza del árido que determina fenómenos atrición y formación de finos con disminución simultanea de huecos.
- Degradaciones variadas del agregado pétreo.



Fotografía 2.14. Deformación plástica permanente en pavimento asfáltico³¹.

³¹ Capitulo 3 "Mezclas Asfálticas", Alejandro Padilla Rodríguez.

CAPITULO III:

CARACTERÍSTICAS Y METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE MEZCLAS SEMICALIENTES Y DRENANTES.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS SEMICALIENTES.³²

3.1.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA SEMICALIENTE.

Se denominan mezclas asfálticas semicalientes a aquellas mezclas que, gracias al uso de determinados procedimientos, pueden ser fabricadas a temperaturas del orden de 30°C por debajo de las mezclas en caliente. Este hecho se traduce, tanto en la central como en la puesta en obra, en una apreciable reducción de emisiones de gases, de humos, olores, y al mismo tiempo en una extendida y compactación más fácil, también en condiciones climáticas poco favorables. Si se considera la durabilidad de la mezcla se puede ver que no queda comprometida, dado que la fabricación se hace a menores temperaturas y por tanto el envejecimiento del ligante será menor.

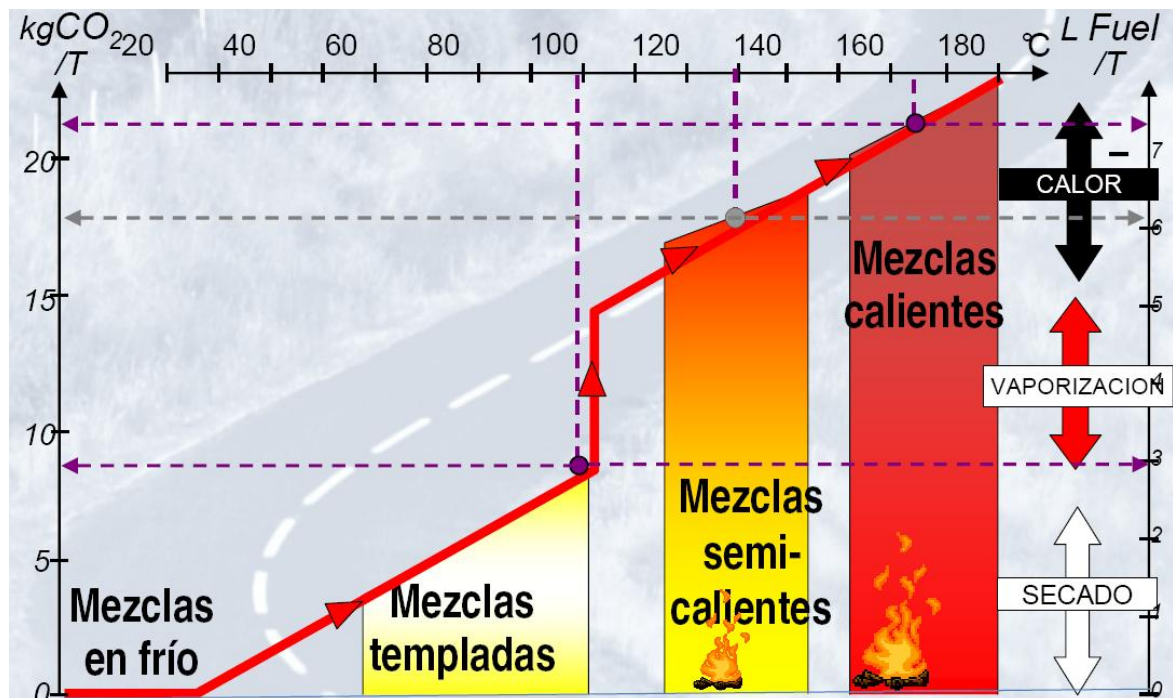


Figura 3.2. Clasificación de las Mezclas Asfálticas en relación a su Temperatura de Fabricación³³.

³² LLUÍS TORRENTÓ SERRA, *Disseny i Caracterització Mecànica de Mescles Bituminoses Semicalentes*, Univesitat Politècnica de Catalunya, España, 2009.

3.1.2 COMPORTAMIENTO VISCOSIDAD VRS TEMPERATURA EN MEZCLAS SEMICALIENTES.

La fabricación de mezclas semicalientes (siglas en inglés WMA) se puede conseguir mediante diferentes procesos, la doble envuelta, la adición de zeolitas sintéticas, la espumación del betún y la adición de ceras o parafinas, sin embargo, todos estos procesos tienen un fundamento común, disminuir la viscosidad del betún para poder fabricar, transportar y poner en obra mezclas bituminosas a temperaturas más bajas, sin perder su manejabilidad ni prestaciones.

Bahia et Anderson (1993) manifiestan que la mezcla idónea de un betún con árido se logra cuando la viscosidad del betún es próxima a los 180 cP (mPa.s), valor que alcanza un betún convencional a los 170°C. Una forma de conseguir esta viscosidad es mediante la modificación reológica del betún por la adición de ciertos productos (ceras, parafinas, zeolitas), sin embargo, lo difícil es lograr reducir la viscosidad a elevadas temperaturas sin disminuir ésta a temperaturas bajas (Figura 3.2), de tal modo, que no comprometa el comportamiento mecánico de la mezcla.

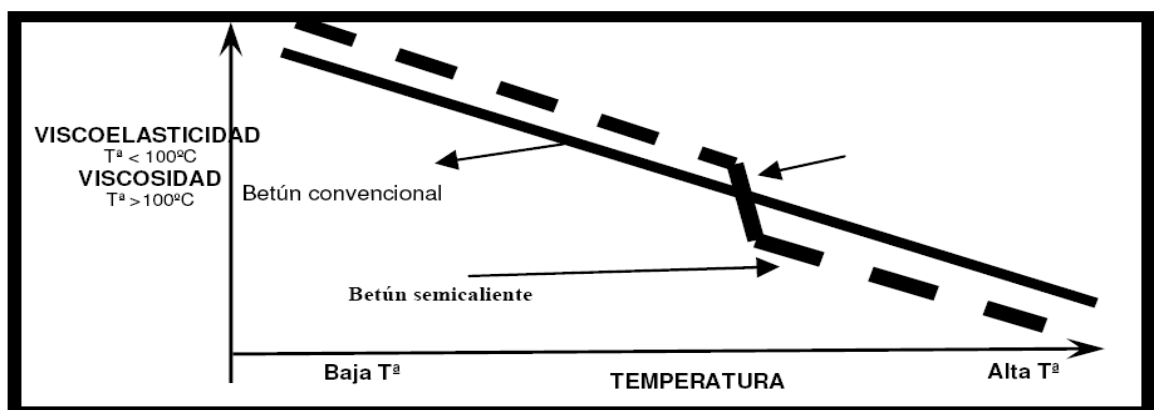


Figura 3.3. Comportamiento de la viscosidad de un betún con la temperatura³⁴.

³³ Jornada de CEPESA/CRP Mezclas templadas.

³⁴ Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas, España

Los productos más conocidos y utilizados para modificar la viscosidad del betún son las ceras y parafinas. Las ceras, suelen ser naturales y obtenidas de residuos fósiles de plantas. Químicamente son ésteres de ácidos y alcoholes grasos de elevado peso molecular. Las parafinas son materiales sintéticos de elevado peso molecular y que se diferencian de las naturales, por tener cadenas más cortas de átomos de carbono. De otra parte, existen en el mercado otros productos que modifican la reología del mástico, entre los cuales se pueden enumerar los tensoactivos o líquidos polifuncionales de base orgánica, que actúan como hiperplastificantes. Los cristales de zeolita granular, que contiene un 21% de agua en masa y que por contacto con el betún a elevadas temperaturas, crea una espuma que le permite disminuir las temperaturas de fabricación.

3.1.3 VENTAJAS DE LAS MEZCLAS SEMICALIENTES.

Las principales ventajas medioambientales relacionadas con el uso de las mezclas semicalientes se resumen a continuación:

3.1.3.1 Ventajas Ambientales.

- Disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero en la planta durante la producción.

En estos últimos años, estudios realizados en Francia y Alemania, indican que se expulsan al menos entre un 30% y un 90% menos de lo que se emite con las Mezclas Asfálticas en Caliente (siglas en inglés HMA) dependiendo de las condiciones. Esto significa que se pueden llegar a reducir las emisiones de gases hasta un 70%, cantidad que no pasa desapercibida.

Las reducciones típicas esperadas para cada uno de los componentes que se generan en la combustión y en el calentamiento de los componentes de la mezcla son las siguientes:

- El CO₂ se reduce entre un 30-40%
- El SO₂ se reduce entre un 35%
- El CO se reduce entre un 10-30%
- El NO_x se reduce entre un 60-70%
- Los COV se reducen un 50%
- La cantidad de polvo se reduce entre un 20-25%

Por lo tanto la contribución de las WMA a los objetivos marcados referentes a la reducción de los gases que provocan el efecto invernadero sería muy apreciable.

3.1.3.2 Ventajas Económicas.

- Disminución del consumo de energía mediante la reducción de la cantidad de combustible utilizado para la combustión y, consecuentemente, reducción de los costes de producción.

Los ahorros de energía registrados en Francia y Alemania durante todos los años de experimentación, indican que la disminución del consumo de energía en la combustión de las HMA se encuentra alrededor de un 20 y un 75% del consumo regular de las WMA, dependiente de la reducción de temperatura, comparando con el equivalente de las HMA.

La importancia económica de este beneficio es relativa ya que depende del tipo y coste de energía que se utilice. En áreas donde el coste del combustible es relativamente alto, el beneficio puede ser un incentivo importante, y en áreas donde este coste sea bajo el beneficio sería mínimo. En cualquier caso, existe un ahorro económico en cuanto a la materia prima, sea cual sea.

Sin embargo, la reducción de la cantidad de combustible necesario para la combustión tiene una consecuencia directa: se reducen las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

3.1.3.3 Ventajas de Producción.

- Mayor distancia entre la planta y el lugar de la obra.

La viscosidad se reduce al utilizar cualquier proceso de WMA, hecho que proporciona mayor margen de tiempo para que se produzca el endurecimiento de la mezcla, y por tanto existe cierta holgura de tiempo para poder compensar el aumento de la longitud del trayecto.

- Reducción del envejecimiento del ligante debido a la disminución de la temperatura en el proceso de fabricación de las WMA.
- Reducción del desgaste de la planta como consecuencia de la disminución de la temperatura, en comparación con las HMA.

3.1.3.4 Ventajas de Puesta en Obra.

- Mayor compactación a temperaturas menores.

Con las mezclas semicalientes se puede mejorar la compactación en cada pasada del compactador, por tanto, se puede contrarrestar el rápido proceso de enfriamiento que pasaría en el caso de ser mezclas en caliente. De esta forma, compactando el mismo número de veces que con las HMA se consigue una compactación completa antes de que finalice el enfriamiento de la mezcla y se convierta en una mezcla difícil de trabajar.

- Mayor compactación con cada pasada del compactador.

La mezcla semicaliente, generalmente, tiene menor viscosidad, cada pasada del compactador proporciona mayor compactación, de esta forma, se reduce el número total de pasadas necesarias para llegar a la densidad óptima.

- Disminución del tiempo de curado, y por tanto, rápida apertura al tráfico.
- Mayor seguridad durante la colocación (además de hacerlo más confortable al operario gracias a la disminución de temperatura).

3.1.4 DESVENTAJAS DE LAS MEZCLAS SEMICALIENTES.

La contrapartida para la industria es el coste añadido que aportan las WMA al incorporarse el mercado. Y la inversión principal es adaptar las plantas de fabricación de mezclas en caliente a las modificaciones requeridas por cada uno de los procedimientos, en el caso de que sea necesario, de las mezclas semicalientes. Por otro lado, el precio por tonelada de mezcla se incrementa debido a la incorporación del aditivo. Sin embargo la adaptación de las instalaciones es amortizable a mediano - largo plazo, el aditivo puede ser material de desecho (Un residuo).

Al parecer no existe ninguna desventaja destacable en cuanto a las propiedades mecánicas de las WMA comparadas con las HMA.

Sin embargo, es importante destacar que hoy en día hay una desventaja desde el punto de vista económico ya que se prevé que será difícil poner en práctica la entrada de las mezclas semicalientes como a una tecnología que sustituya a las mezclas en caliente, o que les haga de momento la competencia. El motivo de esta previsión es debido a la posible negativa de las constructoras (fabricantes de mezclas) a hacer frente a una inversión que, a corto plazo, no aportaría ningún beneficio destacable.

3.1.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL LIGANTE DE UNA MEZCLA SEMICALIENTE.

(NYNAS, United Kingdom)_Las WMA se han utilizado con todo tipo de mezclas asfálticas, incluyendo asfaltos de alta densidad graduada, con Stom Mastic Asphalt (SMA), y mezclas porosas. A la vez han sido utilizadas con asfaltos modificados con polímeros y en las mezclas que contengan asfalto reciclado. En Europa las WMA han sido colocadas en las aceras con un alto tráfico de camiones hasta los 2.500 vehículos pesados al día. También han sido colocados en las paradas de autobuses, en aeropuertos y en las instalaciones portuarias.

Una WMA debe cumplir con todas las especificaciones aplicables para las HMA a diseñar, no hay diferencias. Por lo que en este estudio, las especificaciones a cumplir serán las regidas por las propiedades necesarias que deba tener el ligante para una mezcla drenante.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS DRENANTES.

3.2.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA DRENANTE.

(MUÑOZ, México, 2008) Las mezclas drenantes o porosas son mezclas asfálticas utilizadas como “carpeta de rodadura” que se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos (entre 18 y 25%) interconectados entre sí que permiten el paso del agua superficial a través de ella y su rápida evacuación hacia las zonas laterales fuera de la calzada.

Este elevado porcentaje de huecos se logra mediante el uso de una granulometría especial: un alto porcentaje de áridos gruesos (alrededor del 85%), poco fino y aporte de filler.

El uso de las mezclas porosas cambia radicalmente el concepto tradicional de una carpeta de “rodado impermeable” traspasando la función de proteger de los efectos negativos del agua a la capa subyacente. Esta deberá ser impermeable y con un buen diseño geométrico que asegure el escurrimiento del agua a los drenes laterales y no se infiltre a capas inferiores del camino.

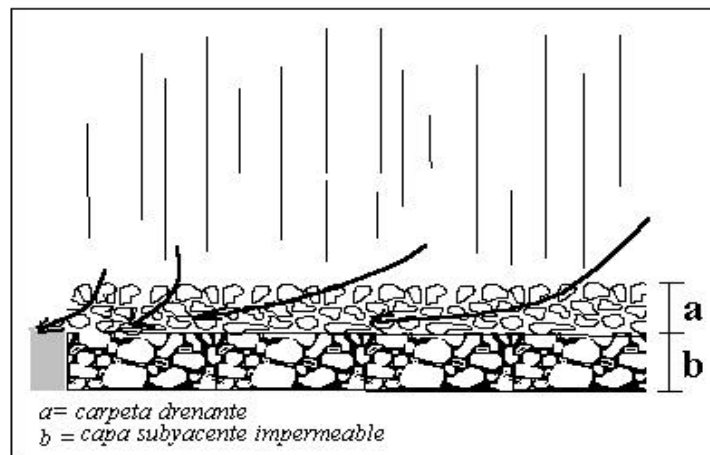


Figura 4.3. Paso del agua en una Mezcla Drenante³⁵.

3.2.2 ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS.

(MORA, México, 1998) La modificación del asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de carreteras. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas o superficie de rodamiento, aumentando la rigidez. Por

³⁵ Pavimentos Drenantes de la Universidad Tecnológica Metropolitana, Julio de 2006.

otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

3.2.2.1 Tipos de Asfaltos Modificados.

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas. Las normas ASTM en 1995 clasificaron estos asfaltos en 3 tipos los cuales son:

ASFALTO TIPO I: normado en la ASTM D5976, asfalto modificado con mejora en el comportamiento tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos.

ASFALTO TIPO II: normado en la ASTM D5840 Es un asfalto modificado con mejora en el comportamiento a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de pavimentos en los que se requiera un mejor comportamiento de servicio, en climas fríos y templados.

ASFALTO TIPO III: normado en la ASTM D5841 Es un asfalto modificado con mejora en la resistencia al ahuellamiento, posee menor susceptibilidad a la

temperatura y posee mejor comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietilenote alta o baja densidad, entre otras.

Se utiliza en climas calientes, para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito.

3.2.2.2 Compatibilidad de los Polímeros.

Para que los asfaltos modificados con polímeros consigan las prestaciones óptimas, hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje. Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de ésta, el polímero sólo actúa como un filler (mineral como: cemento, cal, talco, sílice); y por debajo de ésta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

Si un polímero se añade a dos diferentes asfaltos, las propiedades físicas de los productos finales, pueden ser muy diferentes. Para mayor efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; para que esto ocurra, la química del polímero y del asfalto necesita ser compatible.

Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, usando técnicas convencionales de preparación. Estos sistemas convencionales de preparación de asfaltos modificados con polímeros son grandes recipientes de mezclado con paletas agitadoras a velocidades lentas, o recipientes especiales que favorecen la recirculación con agitadores mecánicos de corte de gran velocidad. El polímero puede venir en polvo, en forma de pequeñas bolitas o en grandes panes. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

3.2.2.3 Uso y Aplicaciones de Asfaltos Modificados.

El asfalto modificado puede ser aplicado de diferentes maneras, dependiendo del uso y necesidades que se requieran cubrir. A continuación se describen algunas aplicaciones de los asfaltos modificados:

- Concreto Asfáltico:

Se caracteriza por reducir la deformación permanente, mayor resistencia a la fatiga, uso de capas más delgadas y mejor resistencia a la post – compactación. Se aplica en pavimentos de pistas de aeropuertos donde las exigencias son muy elevadas, también el “Rolled Asphalt” donde la reflexión de fisuras es muy usual (tránsitos muy intensivos, alta carga de tránsito y elevado peso).

- Mezclas Abiertas:

Se caracteriza por la menor post – compactación y retención del agua y mejor adhesividad del agregado. Se aplica en pavimentos de drenaje o donde las cargas de tránsito no sean elevadas.

- Membrana Absorbadora Intercapa de Esfuerzos:

Se caracteriza por la capacidad para absorber movimientos horizontales producidos por grietas de varios milímetros, mantenimiento de las propiedades elásticas en un amplio rango de temperaturas, buena adhesividad a la vieja y nueva capa de asfalto y posibilita utilizar capas asfálticas más delgadas.

- Tratamientos Superficiales:

Se caracteriza por su mejor retención del agregado, su mayor rango de uso incluidos caminos con tránsito pesado, su mejor resistencia a la tracción y por su formulación de asfaltos diluidos y emulsiones. Se aplica en asfaltos diluidos modificados para ser usado en tratamientos superficiales o riegos de liga.

3.2.3 VENTAJAS DE MEZCLAS DRENANTES.

- **Eliminación del Hidroplaneo.**

(GABRIEL ROULLET, Chile, 2009) Uno de los mayores riesgos cuando se conduce con lluvia es el hidroplaneo, esto es, la capa de agua que se forma entre el neumático y el pavimento rompe el contacto entre ambos, el neumático “flota en el agua” de modo que el conductor pierde el control de su vehículo. La evacuación rápida del agua de la superficie del camino a través de la mezcla porosa impide que se produzca este fenómeno.

- **Resistencia al Deslizamiento con Pavimento Mojado.**

Aún cuando no exista el hidroplaneo, la lluvia puede reducir considerablemente la resistencia al deslizamiento de la superficie del camino. Los asfaltos porosos pueden contrarrestar este efecto permitiendo, debido a su macrotextura, que exista rozamiento entre el neumático y la superficie de rodadura de modo que el vehículo realice los movimientos que desea el conductor logrando así una mayor seguridad (menor distancia de frenado).

- **Reducción de las Proyecciones de Agua.**

Estas mezclas al permitir mantener la superficie del pavimento libre de agua cuando está lloviendo impiden que se produzcan el levantamiento y pulverización del agua al paso de los vehículos, mejorando notablemente la visibilidad del usuario.

- **Menor Deslumbramiento por los Faros de los Vehículos.**

Los conductores que circulan en dirección contraria durante la noche se ven enfrentados al deslumbramiento debido a la reflexión de la luz en los pavimentos mojados tradicionales (superficie lisa), en cambio, los pavimentos de textura rugosa dispersan la luz y por lo tanto reducen el problema de deslumbramiento permitiendo al conductor ver mejor la señalización horizontal.

- **Reducción del Ruido al Paso del Vehículo.**

Las mezclas drenantes contribuyen a la absorción de ruidos generados por el roce entre el neumático y el pavimento cuando el vehículo está en movimiento (tanto en condiciones de lluvia como en seco), ya que el alto porcentaje de huecos de aire interconectados, permiten disipar los ruidos hacia el interior. Gracias a esta reducción de ruidos, las personas que viven cerca de carreteras son las que más se ven favorecidas. Se estima que la reducción media en la sonoridad ambiental es entre 3 a 6 decibeles en comparación a una mezcla normal, apreciándose incluso una diferencia mayor sobre pavimentos húmedos.

3.2.4 DESVENTAJAS DE MEZCLAS DRENANTES.

- **Colmatación de Poros.**

(GABRIEL ROULLET, 2009) Los huecos de las mezclas drenantes durante su vida útil tienden a colmatarse por la acumulación de polvo, arena, materia orgánica u otros. Este fenómeno, a pesar de constituir una pérdida en las propiedades drenantes de la mezcla (y por ende en la reducción de ruidos, efecto neblina e hidroplaneo), no afecta en el funcionamiento como carpeta de rodadura. En la actualidad, existen máquinas de origen japonés que mediante técnicas de lavado a presión lograrían la limpieza de los poros, anulando temporalmente la colmatación.

- **Mayor Costo Inicial.**

Estas mezclas deben construirse necesariamente con asfaltos modificados y áridos de una calidad superior a la normal, lo cual establece un aumento del costo directo tanto de su construcción como del mantenimiento de esta obra (con respecto a una mezcla asfáltica convencional).

- **Diseño Geométrico Riguroso.**

La mezcla drenante, cuando es utilizada como carpeta de rodadura, obligadamente se debe extender sobre una capa que sea impermeable y estructuralmente estable. Adicionalmente esta capa requiere de una geometría adecuada para la evacuación del agua hacia los costados de la pista.

- **Drenaje Lateral.**

El agua que ha escurrido por la mezcla drenante debe ser evacuada a través de drenajes laterales, esto implica la construcción de canales y otras obras de arte.

- **Pérdida de Drenabilidad.**

Las mezclas porosas en el transcurso de su vida útil pueden colmatarse por la acumulación de polvo y otros agentes contaminantes como arena, materia orgánica, etc. entre los huecos. Es importante señalar que, si bien pierde sus propiedades drenantes, seguirá funcionando como carpeta de rodado. Actualmente existen técnicas de lavado a presión que pueden limpiar las mezclas retardando su colmatación.

- **Vialidad Invernal.**

La conservación invernal en las mezclas drenantes requiere de un mayor esfuerzo que las tradicionales: por ejemplo se necesita mayor cantidad de sales fundentes para mantener los caminos libres de nieve. Aunque esta limitación no es un problema para El Salvador, ya que el país posee un clima tropical.

3.2.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL LIGANTE DE UNA MEZCLA DRENANTE.

Los ligantes para mezclas drenantes serán cementos asfálticos modificados con polímero. Las diversas normas extranjeras proponen ciertos requisitos que deben cumplir, los cuales se presentan en la Tabla 3.1:

Ensayo	Norma AASHTO	Exigencia				
		Chilena	Colombiana		Argentina	
			Tipo I	Tipo II	AM2	AM3
Penetración a 25°C 100 gr, 5 seg., 0,1 mm	T 49	60–80	55–70	55–70	50 – 80	50 – 80
Punto de Ablandamiento, °C	T 53	> 65	> 58	> 58	> 60	> 65
Recuperación Elástica, %	T 301	> 60	> 15	> 40	> 40	> 70
Punto de Flama, °C	T 48	> 235	> 230	> 230	> 230	> 230
Ductilidad 25°C, 5 cm/mín, cm	T 51	> 100	-----	-----	-----	-----

Tabla 3.1 Requisitos del cemento asfáltico modificado³⁶.

3.2.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LOS AGREGADOS DE MEZCLAS DRENANTES.

Los agregados pétreos a emplear deben ser naturales o artificiales, y deben provenir de rocas sanas y no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones mas desfavorables que puedan darse en la zona de empleo. Tampoco deben dar origen, con el agua, a disoluciones que causen daños a estructuras u otras capas del paquete estructural ó contaminar corrientes de agua.

³⁶ Manual de carreteras de la dirección general de obras públicas de Chile; Art. 453-07 Mezcla Drenante del Instituto nacional de Vías de Colombia y las Especificaciones técnicas generales de concretos asfálticos drenantes (CAD 12) para carpetas de rodamiento de Argentina.

3.2.6.1 Agregado Grueso.

Se define como agregado grueso a la parte del agregado que queda retenido en el tamiz N° 4 según la ASTM E-11.

En la Tabla 3.2 se presentan los requisitos que debe cumplir el agregado grueso para mezclas drenantes según las normas publicadas en Chile, Colombia y Argentina.

Ensayo	Norma	Exigencia		
		Chilena	Colombiana	Argentina
Partículas Trituradas en dos caras.	ASTM D-5821	> 98%	> 70%	> 75%
Índice de Lajas.	AASHTO C-142	< 25%	-----	< 25%
Coefficiente de Desgaste Los Ángeles.	ASTM C-131	< 20%	< 25%	< 25%
Durabilidad por ataque con sulfato de sodio.	ASTM C-88	-----	< 12%	< 10%
Índice de Plasticidad.	ASTM D-4318	Ninguna	N.P.	No plástico
Adherencia método estático.	ASTM D-1664	> 95%	-----	> 95%

Tabla 3.2. Requisitos del Agregado Grueso³⁷.

El agregado grueso debe estar libre de arcilla, materia vegetal, ú otras materias ajenas que puedan afectar en la durabilidad de la capa drenante.

³⁷ Manual de carreteras de la dirección general de obras públicas de Chile; Art. 453-07 Mezcla Drenante del Instituto nacional de Vías de Colombia y las Especificaciones técnicas generales de concretos asfálticos drenantes (CAD 12) para carpetas de rodamiento de Argentina.

3.2.6.2 Agregado Fino.

El agregado fino es aquel que pasa por la malla N° 4 y queda retenido en la malla N° 200 según la norma ASTM E-11. El agregado fino debe cumplir con los requisitos de la Tabla 3.3:

Ensayo	Norma	Exigencia		
		Chilena	Colombiana	Argentina
Índice de Plasticidad.	ASTM D-4318	No plástico	No plástico	No plástico

Tabla 3.3 Requisitos del Agregado Fino³⁸.

El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, no debe presentar arcilla, material vegetal ú otras materias ajenas.

3.2.6.3 Relleno Mineral (FILLER)

Se denomina como filler aquella fracción que pasa por la malla N° 200 según la norma ASTM E-11. Debe proceder de los agregados pétreos o de productos comerciales como cemento hidráulico y cal hidratada. Debe estar libre de partículas de arcilla y de materia orgánica.

El filler total deberá estar formado por un mínimo de 50% de aportación y el porcentaje restante proveniente de los agregados grueso y fino.

Si se utilizan los materiales comerciales como filler de aporte en este tipo de mezclas, se recomienda no superar el valor de la misma al 3% del peso total de los agregados pétreos.

³⁸ Manual de carreteras de la dirección general de obras públicas de Chile; Art. 453-07 Mezcla Drenante del Instituto nacional de Vías de Colombia y las Especificaciones técnicas generales de concretos asfálticos drenantes (CAD 12) para carpetas de rodamiento de Argentina.

3.2.6.4 Mezcla de Agregados.

La mezcla de los agregados grueso, fino y el relleno mineral, deberán cumplir con los requisitos de la Tabla 3.4:

Ensayo	Norma	Exigencia		
		Chilena	Colombiana	Argentina
Equivalente de Arena	ASTM D-2419	> 50%	> 50%	> 50%

Tabla 3.4. Requisitos del Agregados Combinados³⁹.

La mezcla de agregados deberá ajustarse a cualquiera de las graduaciones o bandas granulométricas (husos) presentes en las diversas normas internacionales presentadas en la Tabla 3.5:

TAMIZ		BANDA GRANULOMETRICA(*)			
		CHILENAS		COLOMBIANA	ARGENTINA
(mm)	ASTM	PA – 10	PA – 12	MD – 1	CAD 12
20.0	3/4"	100	100	100	100
12.5	1/2"	100	70 – 100	70 – 100	70 – 100
10.0	3/8"	70 – 90	50 – 80	50 – 75	50 – 80
5.0	Nº 4	15 – 30	15 – 30	15 – 32	15 – 30
2.5	Nº 8	10 – 22	10 – 22	9 – 20	10 – 22
0.63	Nº 30	6 – 13	6 – 13	5 – 12	6 – 13
0.080	Nº 200	3 – 5	3 – 6	3 – 7	3 – 6

Tabla 3.5. Bandas granulométricas propuestas⁴⁰.

PA: Porous Asphalt, MD: Mezcla Drenante, CAD: Concreto Asfáltico Drenante

^{39 y 8} Manual de carreteras de la dirección general de obras públicas de Chile; Art. 453-07 Mezcla Drenante del Instituto Nacional de Vías de Colombia y las Especificaciones técnicas generales de concretos asfálticos drenantes (CAD 12) para carpetas de rodamiento de Argentina

*Porcentajes que pasan por el tamiz

3.2.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL RIEGO DE LIGA.

El material a usar como riego de liga debe ser una emulsión catiónica de rotura rápida modificada con polímeros (CRS 2I), presenta alta impermeabilidad y cuyas características se indican a continuación en la tabla 3.6:

Ensayo	Especificación	Norma
Viscosidad 25°C, SSF	100 – 400	INV E-763
Sedimentación 24 hrs, %	Max 1	INV E-764
Tamizado, %	Max 0.1	INV E-765
Carga de Partícula	Positiva	INV E-767
Demulsibilidad, 35 ml, 0.8% DOSS de Na	Min 40	INV E-766
Residuo Asfáltico, %	Min 65	INV E-771
Análisis del residuo		
Penetración 25°C, 100gr, 5 seg, 0.1 mm	100-250	INV E-706
Ductilidad a 25°C, cm	Min 40	INV E-702
Solubilidad en Tricloroetileno, %	Max 97.5	-----
Ensayo de la Mancha, % Xilol	Min 25	-----

Tabla 3.6. Especificaciones de emulsión CRS - 2L.

3.2.8 GEOSINTÉTICOS EN PAVIMENTOS DRENANTES.

(JORGE RODRÍGUEZ, España, 2008) Los geosintéticos en los pavimentos permeables pueden ser empleados fundamentalmente como:

- Geotextiles de filtro y separación: situados entre la base y la subbase, o entre la subbase y la explanada.
- Geomallas de refuerzo: embebidas en la subbase, para incrementar la trabazón de la misma y mejorar las características resistentes del pavimento.
- Geomembranas impermeables: colocadas sobre la explanada o la capa permeable, para evitar el paso del agua, en caso de no ser posible la infiltración

al terreno, o para crear un volumen estanco, que permita el almacenamiento del agua infiltrada.

La depuración del agua que tiene lugar en los pavimentos permeables se localiza fundamentalmente en los geotextiles utilizados como filtro y separación entre capas, siendo los encargados de retener la mayor parte de los contaminantes arrastrados por el agua infiltrada.

Por su parte, las geomallas se utilizan como refuerzo para dotar de trabazón a las capas granulares de granulometría abierta. Estos geosintéticos pueden ser de distintos tipos ofreciendo diferentes grados de refuerzo a la estructura del pavimento.

Por último, en los pavimentos permeables con drenaje diferido se emplean geomembranas para la impermeabilización del volumen correspondiente a la subbase.

Estas láminas impermeables deben asegurar un total sellado de la explanada o base (sea donde esta se ubique) que permita contar con una subbase o carpeta de rodamiento estanca, a modo de depósito para el drenaje del agua de lluvia infiltrada.

3.3 METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES (MÉTODO UCL) PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

(JORGE MIRO RECASENS, España, 1994) El método universal de caracterización de ligantes (UCL) utiliza el ensayo cántabro de pérdida por desgaste en la valoración de las propiedades fundamentales de los ligantes, para establecer un método completo de caracterización que tenga en cuenta directamente esas propiedades, valorando el comportamiento del ligante como parte integrante de la mezcla.

Estas propiedades son:

- Cohesión
- Susceptibilidad térmica
- Adhesividad árido-ligante
- Envejecimiento

3.3.1 COHESIÓN

La misión del ligante bituminoso es aglomerar los distintos elementos del árido, proporcionando cohesión a la mezcla. Esta propiedad fundamental del ligante no es valorada, en general, por los ensayos convencionales de caracterización de ligantes.

El ensayo cántabro de pérdida por desgaste fue desarrollado como un procedimiento para valorar, precisamente, la cohesión de las mezclas abiertas, por lo que la determinación de las pérdidas por desgaste, en determinadas condiciones, permitirá valorar la cohesión que el ligante proporciona a la mezcla.

3.3.2 ADHESIÓN ÁRIDO-LIGANTE

El ligante bituminoso debe ser capaz de envolver a los áridos, dando cohesión a la mezcla y resistir la acción de desenvuelta del agua. Por efecto del agua, el ligante se separa del árido y disminuye así la cohesión de la mezcla.

Mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste se puede valorar la adhesividad árido-ligante, determinando las pérdidas de la mezcla cuando ésta se ensaya en seco o tras permanecer cierto tiempo sumergida en agua. El incremento de las pérdidas, figura 3.4, está directamente relacionado con la mejor o peor adhesividad del ligante al árido.

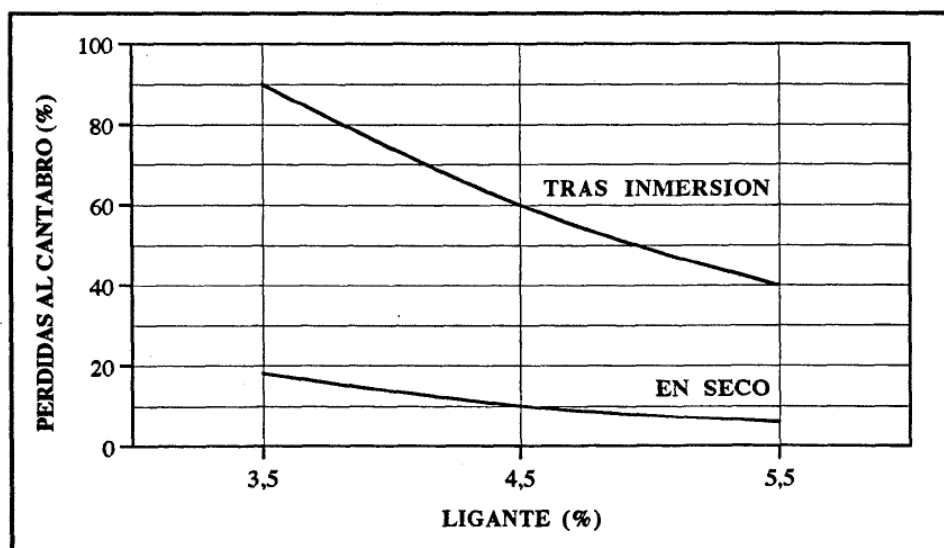


Figura 3.5. Evaluación de la adhesividad árido-ligante. Pérdidas al cántabro en seco y tras inmersión⁴¹.

3.3.3 SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA

Los ligantes bituminosos se caracterizan por tener un comportamiento frágil a bajas temperaturas, un comportamiento elasto-plástico a temperaturas medias y un comportamiento inconsistente a temperaturas altas, figura 3.5.

Esta variación del comportamiento del ligante con la temperatura puede ser evaluada y cuantificada mediante el empleo del ensayo cántabro de pérdida por desgaste. La determinación, en condiciones especiales, de las pérdidas por desgaste a distintas temperaturas, pone de manifiesto el comportamiento frágil del ligante, altas pérdidas al cántabro, su comportamiento elasto-plástico, pérdidas bajas al cántabro, y su inconsistencia, fuerte incremento de las pérdidas.

⁴¹ Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del ensayo cántabro, España 1994.

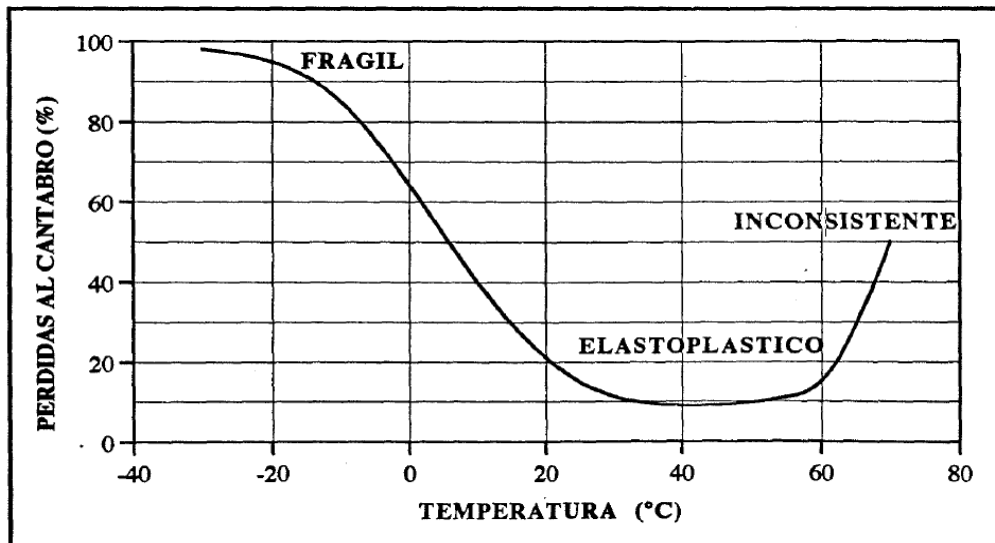


Figura 3.6. Influencia de la temperatura en el comportamiento de las mezclas asfálticas por el método cántabro (curva de estado)⁴².

Mediante la determinación de la curva pérdidas al cántabro-temperatura (curva de estado) se puede evaluar la susceptibilidad térmica de un ligante y comprobar su comportamiento, diferenciando el comportamiento de los betunes modificados.

3.3.4 ENVEJECIMIENTO

La resistencia al envejecimiento de los ligantes bituminosos por la acción de los rayos ultravioletas y los agentes atmosféricos -aire, calor, agua, etc.- es una propiedad de los ligantes relacionada muy directamente con su durabilidad. Cuanto más rápida sea esta oxidación y envejecimiento, mayor será la rapidez con la que el ligante se volverá frágil, disminuyendo su resistencia a la acción abrasiva del tráfico.

⁴² Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del ensayo cántabro, España 1994.

La aplicación del ensayo se lleva a cabo sobre briquetas de mezcla, en las que, por tanto, el ligante ya ha estado sometido a las condiciones de mezclado, esto es, valora las propiedades que éste proporciona a la mezcla una vez que ha sido incorporado a ella. Además, cuando el betún se incorpora a la mezcla, envuelve de manera uniforme las partículas de árido, uniéndolas entre sí, esto es, constituye una película fina, que debido a la porosidad de la mezcla (21% aprox.) presenta una gran superficie expuesta al aire.

Por tanto, si se someten las briquetas a ciertas condiciones de envejecimiento acelerado, en realidad se estará sometiendo el ligante a un envejecimiento en película fina; la oxidación y endurecimiento del ligante, harán que se vuelva frágil, disminuyendo la resistencia a la disgregación de la mezcla. Entonces, la determinación de las pérdidas al cántabro puede poner de manifiesto la mayor o menor sensibilidad de los ligantes frente al fenómeno de envejecimiento.

En laboratorio, la mejor manera de reproducir el envejecimiento es manteniendo las briquetas a cierta temperatura en un horno de aire forzado durante diversos periodos de tiempo, y así conseguir diferentes grados de envejecimiento.

Pérez González en su trabajo de doctorado: "Estudio de la fisuración no estructural de los pavimentos de mezcla bituminosa", evaluó la evolución de las características del residuo de película fina, una vez eliminada la costra o *nata* formada en la superficie de la película.

Esta evolución era, a 60 °C, demasiado lenta para obtener en laboratorio diferentes grados de envejecimiento en tiempos razonables; para la temperatura de 100 °C el envejecimiento obtenido fue más gradual para esos mismos tiempos de permanencia en estufa, y muy rápido a 163 °C, observándose un envejecimiento muy notable a partir de los 3 días en estufa.

Miro Recasens en su trabajo de “Metodología para la Caracterización de Ligantes Asfálticos mediante el empleo del Ensayo Cántabro”, estimo que los tiempos de envejecimiento de 60°C y 100°C eran excesivamente grandes para reproducirse en laboratorio, prefiriendo la temperatura de 163°C que aportaba periodos mas cortos, y a la vez, esta temperatura es la usualmente aplicada en las pruebas de envejecimiento por película fina; y el aire caliente en el interior del horno, proporciona, de forma homogénea, el envejecimiento en la totalidad de la superficie externa y en los poros internos al ser una mezcla porosa.

Se obtiene así una curva pérdidas al cántabro-tiempo de envejecimiento, claramente relacionada con el endurecimiento del ligante, figura 3.6.

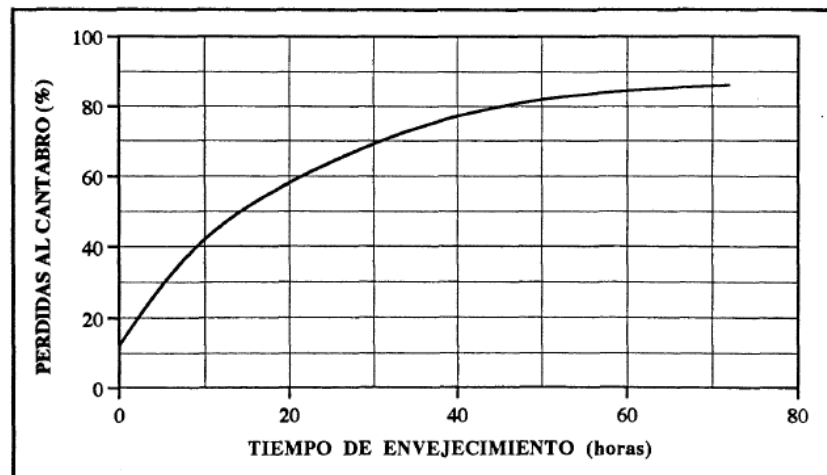


Figura 3.7. Curva de envejecimiento⁴³.

3.4 METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE MEZCLAS POROSAS O DRENANTES.

(MUÑOZ, México, 2008) Existen diferentes metodologías de diseño de mezclas drenantes y la particular estructura interna que presentan estas mezclas, ha llevado a desarrollar ensayos que ayudan a evaluar su comportamiento.

⁴³ Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del ensayo cántabro, España 1994.

Las metodologías conocidas como Cántabro y Australiana, muy utilizadas, plantean para la obtención de una mezcla conforme a las exigencias, la realización de numerosos especímenes.

Las de RP y de Tracción Indirecta, en cambio, son metodologías más sencillas, la primera basada en la obtención de un esfuerzo de penetración y la segunda por un esfuerzo de tracción por compresión diametral.

Es de interés estudiar estas metodológicas de dosificación, con el fin de obtener una segura y rápida para mezclas drenantes, como lo ha sido la metodología Marshall para las mezclas tradicionales, teniendo presente que en este caso se está en presencia de curvas granulométricas discontinuas las que generan un esqueleto abierto. Serán entonces necesarios estudiar otros tipos de ensayos que ayuden a evaluar el comportamiento de la mezcla.

3.4.1 AUSTRALIANA (Open Graded Asphalt Design Guide, originada en la Australian Asphalt Pavement Association)

Es un procedimiento racional de diseño, esta Guía de Diseño hace la composición de ensayos y determinaciones características, mediante Cartas de Diseño. Estas son las herramientas mediante las cuales es posible establecer qué porcentaje de ligante es utilizado en el diseño de la mezcla de obra, respetando valores tales como:

1. Cántabro Seco < 25 %
2. Cántabro Húmedo < 35 %
3. Vacíos mín. 20 %
4. Escurrimiento máx. 0,3 %

Sugiere esta guía dos rangos de aplicación, los cuales son designados como:

- Tipo I, TMDA (Tránsito Medio Diario Anual) < 500 (equivalentes a < 5×10^6)
- Tipo II, TMDA (Tránsito Medio Diario Anual) > 500 ($N > 5 \times 10^6$).

El Tipo I, provee mayor rendimiento, el Tipo II está destinado al más alto rendimiento, con elevado contenido de ligante y empleo de cemento asfáltico modificado.

La resistencia a la desintegración y la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua, en la mezcla, son ponderadas mediante los ensayos, Cántabro en Seco y en Húmedo, respectivamente.

Por otra parte, la segregación de ligante es considerada mediante el Ensayo de Ecurrimiento (Norma NLT-365/93, Ecurrimiento de ligante en mezclas bituminosas abiertas), realizando las determinaciones para cada contenido de ligante asfáltico utilizado en el proceso de dosificación y por duplicado.

El procedimiento se realiza a la máxima temperatura de mezclado que se ajusta, de acuerdo con el tipo de ligante asfáltico utilizado, garantizando las viscosidades especificadas por Norma.

La Guía de Diseño consta de: Selección del TMN, selección de la granulometría y selección del ligante de prueba. Previamente a la determinación del contenido de ligante de la mezcla, debe determinarse la absorción de ligante por parte del agregado pétreo. La metodología se refiere únicamente al ligante efectivo. Existe un mínimo contenido de ligante referido al TMN y vinculado al recubrimiento, con una película que asegure cohesión y durabilidad. El máximo se relaciona a la posibilidad de escurrimiento de ligante durante el transporte.

La metodología de diseño se basa en:

- a) Seleccionada la granulometría inicial, en función de los vacíos que se esperen obtener en la capa terminada, se procede a confeccionar briquetas con distintos puntos de asfalto.
- b) Con las cantidades de ligante seleccionadas, se preparan pastones destinados a la confección de briquetas Marshall para el ensayo de abrasión Cántabro y la ejecución del ensayo de escurrimiento. Los contenidos de ligante de prueba son los mínimos requeridos para el trazado de las diferentes gráficas, que serán las que conformen las cartas de diseño.
- c) La resistencia a la abrasión de las mezclas se evalúa mediante el ensayo Cántabro Seco.
- d) Se determina el escurrimiento de ligante para cada contenido de prueba, por duplicado, empleando el ensayo del canasto de escurrimiento. El escurrimiento no debe superar el 0,3 %.
- e) Para determinar el contenido de ligante que satisfaga las condiciones de vacío de aire y requerimientos de abrasión, puede emplearse la carta de diseño. El límite mínimo del contenido de vacío de aire es el máximo contenido de ligante (CLmax). El contenido de ligante correspondiente a la máxima pérdida por abrasión (25 % Cántabro Seco), es el mínimo contenido de ligante (CLmin). El contenido provisional de ligante es el promedio entre CLmax y CLmin.
- f) Si la mezcla con el contenido provisional de ligante reúne todos los requerimientos, la mezcla es satisfactoria por lo cual puede elaborarse y colocarse con el contenido de diseño del ligante.

3.4.2 RP (ORIGEN CHILE)

Esta metodología fue desarrollada en Chile, en el Laboratorio Nacional de Vialidad, MOP, por los Ing. Héctor Rioja V. y Gabriel Palma P.

La metodología consiste en la medición del esfuerzo a la penetración, a temperatura y velocidad controlada, que presentan briquetas de mezcla asfáltica abierta, fabricadas de acuerdo con la metodología Marshall. Utilizando en este caso 45 golpes por cara y distintos contenidos de ligante, considerando que la mezcla óptima es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración.

Para el ensayo, los autores especifican una temperatura de laboratorio de 20 °C, dejando las briquetas enfriar a esta temperatura y posteriormente colocándolas en forma vertical en una prensa Marshall. En esta disposición son penetradas a una velocidad de 1 mm/min por un pistón de acero de 50 mm de diámetro y un largo de 105 mm adaptado al aro dinamométrico de la prensa.

Para realizar el proyecto de una mezcla por esta metodología, se escoge el huso granulométrico, se establecen distintos porcentajes de ligante, se moldean tres briquetas por cada tenor de ligante y se realiza el ensayo de penetración.

Por definición, el cálculo de esfuerzo se realiza considerando el valor medio entre el área del pistón y área de la base de la biqueta.

Los distintos esfuerzos de penetración son graficados para cada tipo de mezcla y sus respectivos porcentajes de ligante asfáltico. De dicha gráfica se obtiene el máximo esfuerzo de penetración, que corresponde a un porcentaje de ligante que es adoptado como el Ligante de Diseño.

3.4.3 TRACCIÓN INDIRECTA (ORIGEN BRASIL)

La determinación de la resistencia a Tracción Indirecta en las mezclas bituminosas representa un parámetro mecánico que puede resultar una herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica, valorando la cohesión de la mezcla.

En el Laboratorio de Caminos de la Universidad de Cataluña se ha estudiado la posibilidad de implementación del ensayo de tracción indirecta en el control de ejecución de capas asfálticas tradicionales, mediante un análisis de sensibilidad del ensayo y un estudio de correlación entre los valores obtenidos en laboratorio y en testigos extraídos de numerosas obras. De las conclusiones obtenidas ha surgido un criterio de aceptación de la mezcla bituminosa que permite evaluar su calidad mecánica y no sólo su compacidad.

También se ha deducido que existe una correlación entre la densidad y la resistencia a tracción indirecta de la mezcla, y que esta última es un parámetro capaz de evaluar a la mezcla con mayor sensibilidad que la obtenida mediante el uso de la compacidad, pues se ha demostrado que puede conseguirse la misma compacidad con temperaturas bajas y una elevada energía o con mayor temperatura y menor energía, resultando la cohesión conseguida mayor en este último caso.

A partir del análisis de estos resultados se han recomendado valores mínimos a conseguir en cada una de las mezclas estudiadas para establecer un FACTOR DE CALIDAD, en función de la diferencia entre la resistencia de la mezcla fabricada y la conseguida tras su extensión y compactación en obra. Este factor, varía con la calidad conseguida en cada obra, ya que cuanto menor sea el factor mayor es la calidad y más semejanza existe entre el producto final y la mezcla proyectada en laboratorio.

De lo expuesto se deduce que esta metodología modifica los umbrales de calidad. El conocimiento de los valores de tracción indirecta en laboratorio es una herramienta más al conocimiento, el único control que se le realiza a una capa terminada es determinar la densidad y compararla con la obtenida en la compactación Marshall.

3.4.4 CANTABRO (ORIGEN ESPAÑA)

En 1979, Félix Pérez Jiménez y Carlos Kraemer, comenzaron a realizar trabajos para establecer una metodología de dosificación en laboratorio para estas mezclas, llegando a desarrollar dos ensayos:

- Cántabro, ensayo de pérdida por desgaste en la máquina Los Ángeles, para la caracterización mecánica.
- Permeámetro de carga variable LCS, para la caracterización hidráulica de porcentajes de vacíos, ya sea en Laboratorio o en campo.

El ensayo Cántabro puede realizarse tanto en estado Seco como en Húmedo, simulando en laboratorio la acción abrasiva del tránsito y la influencia del agua, lo que permite el estudio y dosificación de estas mezclas.

Este método ha utilizado como base el método universal de caracterización de ligantes, ya que su metodología puede ser utilizada en mezclas con porcentajes de vacíos mayores a 20%, situación que impide el uso del método Marshall diseñado para mezclas con porcentajes de vacíos menores al 8%.

Cuanto mayor es la calidad y porcentaje de los componentes que proporcionan la cohesión a la mezcla, menores son las pérdidas. Como resultado del ensayo, se obtiene la pérdida en peso de la briqueta, en tanto por ciento, referido a su peso inicial.

Cántabro Seco: La norma NLT-352/00 describe el procedimiento que debe seguirse, empleando la máquina de Los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra. Se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo es realizado a una temperatura de 25 °C, lo cual permite valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito.

Cántabro Húmedo: La norma que se refiere a esta metodología es la NLT - 362/92. El ensayo Cántabro Húmedo nos permite valorar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla y el efecto que produce el empleo de ligantes modificados en la mejora de esa propiedad.

El procedimiento consiste en determinar la pérdida al Cántabro Húmedo de mezclas que han permanecido sumergidas en agua durante 4 días a 49 °C ó 24 horas a 60 °C. Pérdidas altas o un índice de aumento de las pérdidas respecto al ensayo de Cántabro Seco también alto, sería indicativo de una falta de resistencia de la mezcla a la acción del agua.

Las recomendaciones más usuales para mezclas porosas para capas de rodadura establecen los siguientes valores máximos y mínimos de exigencias.

- Porcentaje de Huecos > 20 % y < 25%.
- Pérdida al Cántabro seco (25 °C) < 25 %.
- Pérdida al Cántabro tras Inmersión (24 hs, 60 °C) < 40 %.

La medición de permeabilidad se hace a través de un permeámetro de carga variable LCS, (NLT 327/88 - Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el Permeámetro LCS). El ensayo consiste en medir el tiempo que demora una cierta cantidad de agua en evacuarse del tubo del permeámetro pasando a través de dos marcas, filtrándose en la mezcla. Estudios españoles han podido determinar correlaciones entre permeabilidad y tiempo de evacuación y porcentaje de huecos versus tiempo de evacuación. Si bien esta metodología fue diseñada para medir permeabilidad in situ de las mezclas drenantes, este permeámetro se utiliza también en laboratorio.

La metodología cántabro, contempla los siguientes pasos:

1. Caracterización de los Agregados y Elección de la Curva Granulométrica.

Tamiz (mm)	Especificación Española	P		PA	
		10	12	10	12
19	20	100	100	100	100
13,2	12,5	100	75-100	100	75-100
9,5	10	80-90	60-90	70-90	60-90
4,75	5	40-50	32-50	15-30	18-30
2,36	2,5	10 - 18	10- 18	10 - 22	10 - 22
0,6	0,63	6-12	6 – 12	6 - 13	6- 13
0,075	0,08	3-6	3 – 6	3 - 6	3 – 6

Tabla 3.7 Husos granulométricos españoles para mezclas abiertas⁴⁴.

P: Porous, PA: Porous Asphalt.

Se realizan los ensayos de laboratorio al agregado para determinar si cumple con los requisitos para mezclas drenantes. La Tabla 3.7 muestra las curvas granulométricas presentadas en la Normativa Española para mezclas abiertas.

2. Caracterización del Asfalto y Elección de los Porcentajes de Ligante para el Diseño.

Siguiendo las normas de ensayo respectivas, se obtienen las propiedades del asfalto modificado necesarias para caracterizarlo como un asfalto para mezclas drenantes. Se obtienen además las temperaturas de mezclado y compactación para la elaboración de las briquetas de ensayo.

3. Elaboración de Briquetas de Ensayo.

Las briquetas de ensayo se fabrican siguiendo el procedimiento dado en la norma ASTM D-1559 “Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas compactadas”. Las briquetas se compactan con un número de 50

⁴⁴ Art. 453-07 Mezcla Drenante del Instituto nacional de Vías de Colombia.

golpes por cara con un martillo normalizado y con una temperatura de compactación correspondiente a 2.8 poises de viscosidad para cada porcentaje de ligante asfáltico. Las briquetas se elaboran en un número de cuatro por cada porcentaje de ligante desde 3.5 % a 5.0 % con un intervalo de 0.5 % de peso de agregado. Para el mezclado, el asfalto se calienta a una temperatura correspondiente a una viscosidad de 1.8 poises y el agregado a una temperatura de 20 ° C más que la del asfalto.

4. Determinación de las Propiedades de las Briquetas de Ensayo.

Para las briquetas elaboradas, se determina la densidad bulk y el porcentaje de vacíos, según norma ASTM 3203 o INV 735. Para la determinación de la densidad bulk de cada biqueta, el volumen se obtiene en forma geométrica.

5. Ejecución del Ensayo Cántabro Seco.

Consiste en someter al desgaste cada biqueta a 100, 200 y 300 revoluciones en la máquina de los ángeles (sin carga abrasiva), previo a mantenerlas a 25 ° C o temperatura ambiente durante un período mínimo de 6 horas, según la norma NLT-352 “Caracterización de mezclas bituminosas abiertas por medio del Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste”.

6. Ejecución del Ensayo Cántabro Húmedo.

Consiste en someter al desgaste cada biqueta a 100, 200 y 300 revoluciones en la máquina de los ángeles (sin carga abrasiva), previo a mantenerlas a 25 ° C o temperatura ambiente durante un período mínimo de 6 horas después de haberse mantenido en inmersión en baño de maría a 60 °C durante 24 horas, según la norma NLT-362 “Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas abiertas, mediante el Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste”.

7. Elección del Porcentaje Óptimo de Ligante.

Se realiza en base a los valores de densidad bulk, porcentaje de vacíos y perdidas al Cántabro Seco y Húmedo versus contenido de ligante asfáltico, de acuerdo al siguiente análisis:

- a. El primer valor del porcentaje de asfalto es el que corresponde a la máxima Gravedad Específica bulk alcanzada.
- b. El segundo valor en la gráfica de % de vacíos Vs. % Asfalto al que corresponda entre los valores que estén en el rango de 20 a 25% de Vacíos.
- c. El tercer valor que formará parte para sacar el promedio que será el porcentaje óptimo de asfalto es el que corresponda en la gráfica de % de Desgastes Vs. % de Asfalto el que se encuentre en el intervalo de menor ó igual al 20% de desgaste a las 300 revoluciones.
- d. El valor óptimo de asfalto de la mezcla es el valor promedio de los obtenidos.
- e. El cuarto valor es el que corresponda en la gráfica de % de Desgastes del Cántabro Húmedo Vs. % de Asfalto que se encuentre en el intervalo de menor ó igual al 40% de desgaste a las 300 revoluciones. Este valor es considerado como el mínimo porcentaje de ligante que puede poseer la mezcla, si el porcentaje óptimo no cumple con este parámetro, se optara por tomar el que lo satisfaga, caso contrario se dará por aprobado y satisfactorio el porcentaje optimo promedio.

8. Evaluación de la Mezcla Drenante:

- a. Análisis de la susceptibilidad térmica.

El análisis de la susceptibilidad térmica tiene como objetivo fundamental determinar el comportamiento de los ligantes bituminosos frente a esta

propiedad, analizar el comportamiento frágil a bajas temperaturas, elasto-plástico a temperaturas medias y un comportamiento inconsistente a temperaturas elevadas.

El ensayo establece que las briquetas deben mantenerse a una temperatura constante durante un periodo de 12 horas para luego ser ensayadas inmediatamente en la máquina de los ángeles. La temperatura de fragilidad se define como aquella en la que se alcanza una pérdida del 60 % a bajas temperaturas, y la temperatura de inconsistencia como la correspondiente al 70 % de pérdidas a elevadas temperaturas.

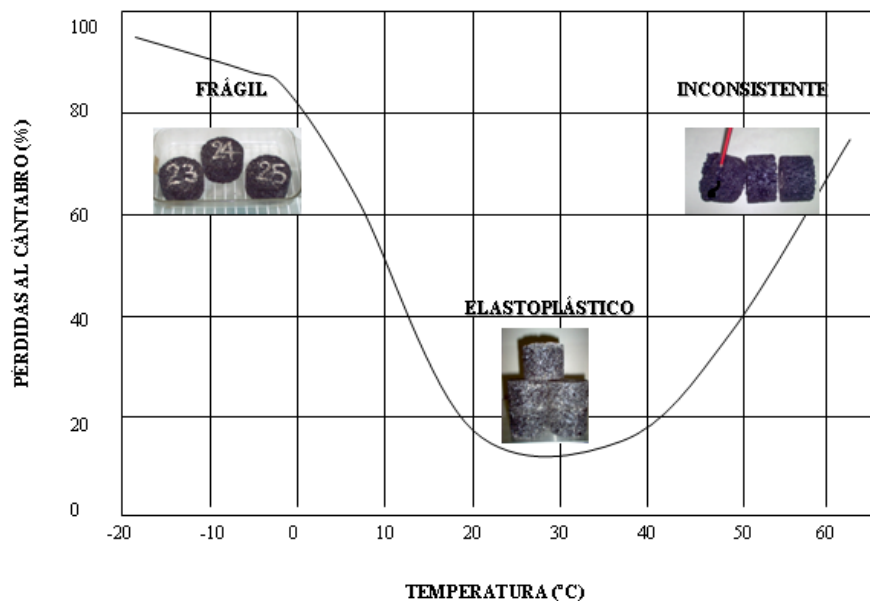


Figura 3.8. Susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos⁴⁵.

b. Análisis del Envejecimiento:

⁴⁵ Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del ensayo cantabro, España 1994.

La resistencia al envejecimiento de los ligantes bituminosos por la acción de los rayos ultravioleta y los agentes atmosféricos (aire, calor, agua) es una propiedad de los ligantes relacionada muy directamente con su durabilidad. Cuanto más rápida sea esta oxidación y envejecimiento, mayor será la rapidez con la que el ligante se volverá frágil, disminuyendo su resistencia a la acción abrasiva del tráfico. El envejecimiento del ligante se inicia al momento de mezclarse con los áridos alcanzando elevadas temperaturas, y luego progresa durante su vida útil por reacciones de oxidación, deshidrogenización y volatilización.

Un grupo de briquetas se evalúan sin someterse a ningún periodo de envejecimiento, con el fin de disponer de una muestra sometida en condiciones naturales, los otros grupos restantes permanecen durante 2.5, 10 y 20 horas respectivamente a 163 ° C. Debido a que la temperatura de preparación es muy elevada; es necesario colocar cada briqueta dentro de una malla metálica, con el fin de evitar el desmoronamiento de éstas.

Las briquetas sometidas a estas elevadas temperaturas tienden a adquirir una forma cónica debido al escurrimiento del ligante, para que este escurrimiento sea homogéneo se invierten estas después de 2,5 horas. Una vez que se ha cumplido el tiempo de horas de preparación de las briquetas (2.5, 10 y 20 horas) estas se las enfría durante doce horas y se ensayan en la máquina de los ángeles a 25 ° C a 100, 200 y 300 revoluciones.

c. Permeabilidad:

El ensayo de permeabilidad puede realizarse a la vez en laboratorios, por lo que se debe utilizar el permeámetro LCS (Laboratorio de Caminos de Santander), utilizando la norma española de ensayo NLT 327/00.

El Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU) de España, en 1987, estableció limitaciones de la permeabilidad que debe poseer las mezclas porosas con porcentajes de vacíos mayores al 18%, indicando que la

permeabilidad debe ser mayor de 1×10^{-2} cm/s, siendo aconsejable mayor de 5×10^{-2} cm/s.

3.5 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DE EL SALVADOR.

3.5.1 REGISTROS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO.

El desempeño de una capa de rodadura de una estructura de pavimento, dependerá entre otros aspectos de las condiciones ambientales a las que estará expuesta durante su etapa de servicio, en lo que respecta a contenido de humedad, temperaturas máximas y mínimas o el gradiente de temperatura que pueda experimentar la capa de rodadura, entre otros. De manera particular, en lo que respecta a pavimentos flexibles, es importante tomar en cuenta que el cemento asfáltico es un material termoplástico y su comportamiento es incidente en el desempeño de la capa de rodadura asfáltica, por lo que la temperatura que experimente dicha capa es una de las principales variables a considerar en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente a utilizar.

Es por lo tanto que la Unidad de Investigación y Desarrollo Vial (UIDV) del Vice-Ministerio de Obras Públicas de El Salvador, realizó una investigación en donde se seleccionaron nueve (9) zonas del país, en las cuales se llevó a cabo mediciones directas de la temperatura de la capa de rodadura del pavimento, construida utilizando mezcla asfáltica. La selección de las zonas de medición fue realizada considerando principalmente los siguientes aspectos:

- a) Ubicación geográfica y
- b) Registros históricos de temperaturas máximas y mínimas en el país.

Las zonas de medición seleccionadas y la ubicación de las mismas se presentan a continuación en la Tabla 3.8 y en la Figura 3.8.

No.	Zona de Medición	Departamento	Identificación de Zona de Medición	Elevación (m.s.n.m.)	Latitud	Longitud
1	Carretera del Litoral, Desvío El Delirio	La Unión	ZM-1	57	13°19'47" N	88°08'55" W
2	Acajutla	Sonsonate	ZM-2	58	13°36'14" N	89°48'17" W
3	Carretera del Litoral, Desvío Zacatecoluca-Comalapa,	La Paz	ZM-3	59	13°28'58" N	89°03'46" W
4	Puente Cuscatlán	San Vicente	ZM-4	94	13°36'34" N	88°33'51" W
5	San Francisco Gotera	Morazán	ZM-5	238	13°41'31" N	88°06'01" W
6	Carretera Troncal del Norte, Desvío Amayo	Chalatenango	ZM-6	292	14°06'15" N	89°09'07" W
7	Metapán	Santa Ana	ZM-7	385	14°20'04" N	89°27'06" W
8	UIDV	San Salvador	ZM-8	662	13°41'21" N	89°14'07" W
9	Cerro Verde	Santa Ana	ZM-9	2009	13°49'34" N	89°37'29" W

Tabla 3.8. Zonas seleccionadas para la medición de temperatura superficial del pavimento.⁴⁶



Figura 3.8 Ubicación de zonas de medición de la temperatura superficial del pavimento.⁴⁷

⁴⁶ Selección del tipo de cemento asfáltico para producir mezclas asfálticas en caliente En El Salvador, Viceministerio de Obras Públicas, Junio 2010.

⁴⁷ Selección del tipo de cemento asfáltico para producir mezclas asfálticas en caliente En El Salvador, Viceministerio de Obras Públicas, Junio 2010.

La medición de la temperatura superficial de la capa de rodadura del pavimento, fue llevada a cabo considerando uno de los procedimientos indicados en el documento *Temperature Predictions and Adjustment Factors for Asphalt Pavement* de la Federal Highway Administration (FHWA). El procedimiento consistió en realizar pequeñas perforaciones en la capa de rodadura de mezcla asfáltica, de una profundidad de aproximadamente 4 cm, se incorporó un líquido (aceite) en el interior de los mismos, se introdujo un termómetro y posteriormente, luego de que la temperatura se encontraba estable, se registró la temperatura (Ver Figuras 3.9 y Fotografía 3.1).

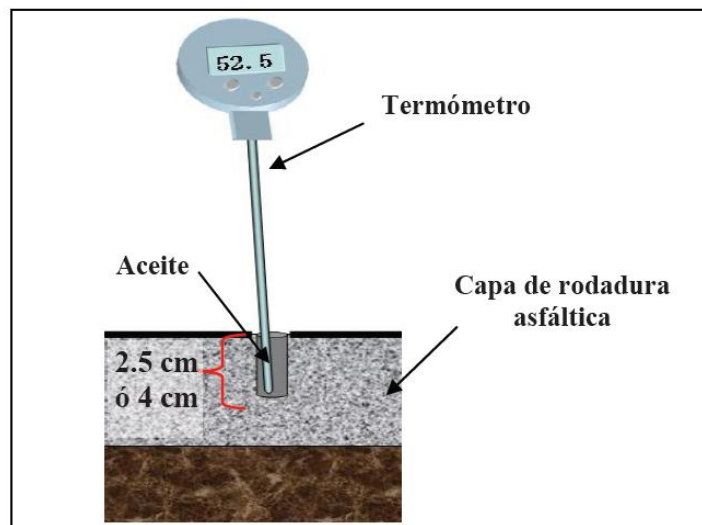


Figura 3.9. Esquema de medición de temperatura de la superficie del pavimento.⁴⁸

⁴⁸ Selección del tipo de cemento asfáltico para producir mezclas asfálticas en caliente En El Salvador, Viceministerio de Obras Publicas, Junio 2010.



Fotografía 3.1. Medición en Carretera del Litoral, Desvío Zacatecoluca-Comalapa. Personal de la UIDV, durante la toma de registro de temperatura superficial del pavimento.⁴⁹

Las mediciones de temperatura superficial del pavimento, se realizaron en cinco periodos, correspondientes a los meses de febrero, abril y agosto de 2009 y enero y marzo de 2010. Cabe señalar que en dichas zonas, también se registró información correspondiente a temperatura ambiente utilizando estaciones meteorológicas portátiles.

A continuación en la Tabla 3.9, se presenta un resumen de los registros de la máxima temperatura de la superficie del pavimento (a una profundidad de 2.5 cm) y la correspondiente temperatura ambiente, registradas en las mediciones directas que se llevaron a cabo.

⁴⁹ Selección del tipo de cemento asfáltico para producir mezclas asfálticas en caliente En El Salvador, Viceministerio de Obras Públicas, Junio 2010.

No	Zona de Medición	TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO (°C)									
		1ra Med. (Febrero 2009)		2da Med. (Abril de 2009)		3ra Med. (Agosto de 2009)		4ta Med. (Enero de 2010)		5ta Med. (Marzo de 2010)	
		TA	TPR	TA	TPR	TA	TPR	TA	TPR	TA	TPR
1	Carretera del Litoral, Desvío El Delirio	39.9	64.3	39.0	65.9	41.8	66.0	37.0	57.5	42.1	68.6
2	Acajutla	34.2	62.6	38.5	63.6	39.4	68.6	35.5	59.5	40.6	67.7
3	Carretera del Litoral, Desvío Zacatecoluca - Comalapa	37.7	64.1	39.8	62.6	43.9	66.3	34.0	54.3	41.3	66.4
4	Puente Cuscatlán	40.2	60.3	39.5	57.1	47.2	64.4	36.2	52.7	43.4	65.7
5	San Francisco Gotera	37.7	63.9	39.5	60.3	40.2	61.8	39.5	58.9	41.3	52.4
6	Carretera Troncal del Norte, Desvío Amayo	36.4	56.2	40.3	59.4	38.7	65.5	40.3	55.1	41.1	60.3
7	Metapán	35.5	60.1	35.6	59.8	37.6	51.9	36.0	54.5	41.3	58.9
8	UIDV	31.5	56.3	35.1	56.9	34.9	65.4	33.2	52.4	34.8	53.2
9	Cerro Verde	23.5	51.1	28.4	46.1	30.7	49.9	25.5	45.7	26.2	33.2
Simbología: TA= Temperatura ambiente; TPR= Temperatura del pavimento registrada a 2.5 cm											

Tabla 3.9. Valores máximos de Temperaturas ambiente y Temperatura de la superficie del pavimento para cada una de las zonas de medición consideradas en la investigación.⁵⁰

⁵⁰ Selección del tipo de cemento asfáltico para producir mezclas asfálticas en caliente En El Salvador, Viceministerio de Obras Publicas, Junio 2010.

Las temperaturas máximas que se presentan en El Salvador no exceden los 69°C, a la vez, no se encuentran temperaturas menores a los 33°C. Estas temperaturas deben ser tomadas en cuenta a la hora de definir las temperaturas de ensayo en el análisis de la susceptibilidad térmica de la mezcla asfáltica semicaliente drenante.

3.5.2 REGISTRO DE PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES.

En el 2003, el Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo de España aprobó la Norma 6.1 IC Secciones de firme de la Instrucción de Carreteras, donde establece que las mezclas drenantes sólo podrán aplicarse en carreteras con un régimen de lluvias constante que facilite su limpieza, en el que la precipitación media anual debe ser mayor de 600 mm.

En El Salvador, la Secretaria Nacional de Estudios Territoriales (SNET), ha realizado mediciones de precipitación, y en base a las lecturas tomadas durante 30 años (1971 – 2001), se han calculado la Precipitación Media Anual para cada una de las Regiones Hidrográficas, en la tabla 3.10 se muestra un resumen de estas mediciones.

REGION	PMA
Lempa	1829.92
Coatepeque	1814.63
Paz	1373.63
Cara Sucia San Pedro	1845.15
Grande de Sonsonate Banderas	1892.26
Mandinga Comalapa	1908.08
Jiboa	1807.53
Estero de Jaltepeque	1852.15

Bahía de Jiquilisco	1781.61
Grande de San Miguel	1691.22
Goascoran	1835.39
Sirama	1612.28
Cuerpos de Agua o Islas	1581.31
TOTAL PAIS	1778.51

Tabla 3.10 Precipitación Media por Región Hidrográfica En El Salvador⁵¹

Estos valores, a la vez, se ven reflejados en la figura 3.10, un mapa de El Salvador donde se muestran las Precipitaciones Anuales Promedio a lo largo de 1971 hasta el año de 2001, donde la precipitación promedio anual mínima esta en el rango de 1100 a 1300 mm, siendo aplicable la mezcla drenante en todo el territorio salvadoreño.

⁵¹ http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/PM_region.pdf

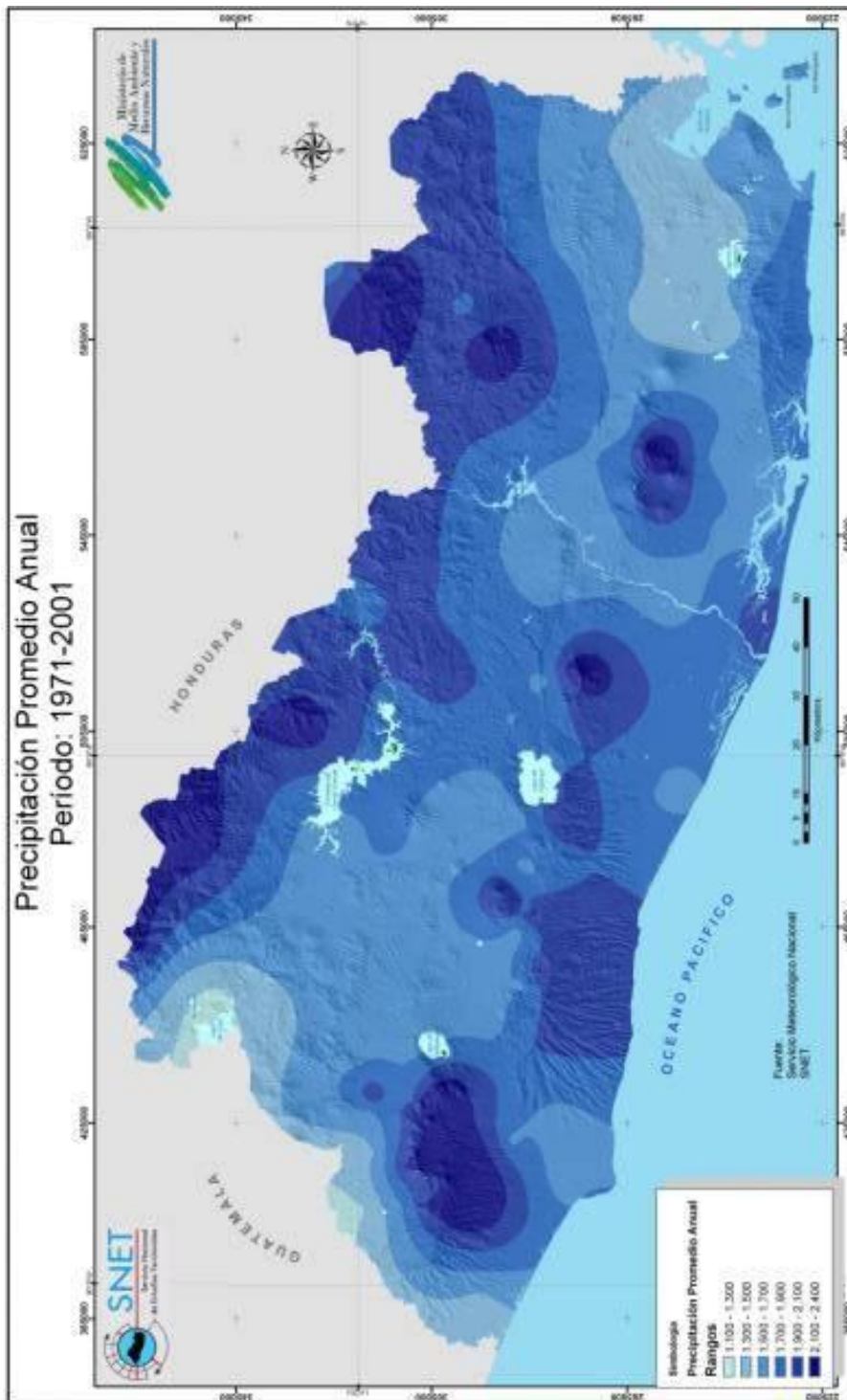


Figura 3.10 Mapa de Precipitación Promedio Anual. Periodo: 1971 – 2001.⁵²

⁵² <http://atlas.snet.gob.sv/>

CAPITULO IV:

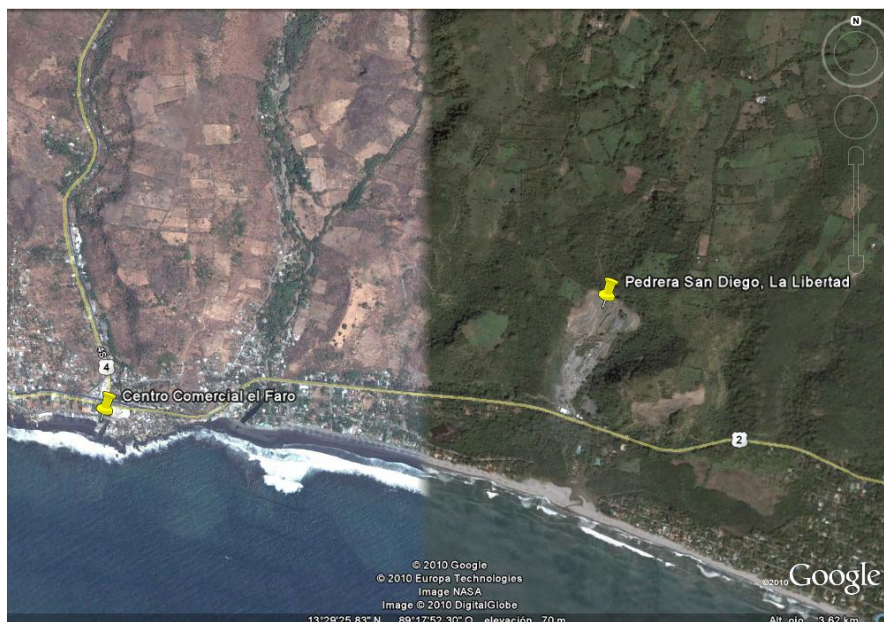
DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE DRENANTE

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

En el capítulo III se detalló las especificaciones técnicas que deben cumplir los materiales para estas mezclas asfálticas, según tres países diferentes (Colombia, Argentina y Chile). De las cuales se optara por cumplir las exigencias de Colombia por poseer requerimientos que pueden obtenerse en laboratorios salvadoreños, pero en su defecto se usaran las españolas.

4.1.1. AGREGADOS PÉTREOS

Los materiales pétreos fueron obtenidos de La Cantera S.A. de C.V. ubicada en San Diego municipio de La libertad (Ver Figura 4.1). Se utilizará material de grava $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " y arena triturada para poder obtener una granulometría combinada que cumpla con la banda granulométrica MD-1 según el artículo 453 de las normas INV de origen colombiano que es el mismo PA-12, huso español. Las características que presento el material grueso y fino se presentan en los ANEXOS 1 al 17 y están resumidas en las tablas 4.1 y 4.2 respectivamente.



Fotografía 4.1 Ubicación de La Cantera de San Diego, La Libertad. ⁵³

⁵³ Google Earth 2010.

CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GRUESO		
PRUEBAS REQUERIDAS	¾"	½"
Peso específico (ASTM C 127-01)	2.605 g/cm ³	2.779 g/cm ³
Absorción (ASTM C 127-01)	1.173%	1.250%
Desgaste de los ángeles (ASTM C 535-03)	15.1%	15.88%
Partículas planas (ASTM D 4791)	0.45%	0.50%
Partículas alargadas (ASTM D 4791)	0.75%	0.00%
Dos o más caras fracturadas (ASTM D 5821)	100.0 %	100.0 %
Grumos de arcilla y partículas desmenuzables (ASTM C 142)	0.0%	0.0%
Durabilidad por ataque de sulfato de sodio (ASTM C 88-99)	0.8%	0.4%

Tabla 4.8. Propiedades del agregado grueso.

CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO	
PRUEBAS REQUERIDAS	ARENA TRITURADA
Peso específico (ASTM C 128-88)	2.460 g/cm ³
Absorción (ASTM C 128-88)	2.716%
Equivalente de arena (ASTM D 2419-91)	87.40%
Índice de plasticidad (ASSHTO T89 Y T90)	NP
Grumos de arcilla y partículas desmenuzables (ASTM C 142)	0.1%
Durabilidad por ataque de sulfato de sodio (ASTM C 88-99)	1.3%

Tabla 4.9. Propiedades del agregado fino.

Las granulometrías que presentaron los materiales pétreos se determinaron por medio la norma ASTM C 136-03, y se obtuvieron los datos que se muestran en los ANEXOS (18 al 21) y se expresan de forma resumida en la tabla 4.3:

MALLA		% QUE PASA		
ASTM	mm	Arena triturada	Grava ½"	Grava ¾"
¾"	19	100%	100%	99.2%
½"	12.50	100%	100%	58.0%
⅜"	9.50	100%	92.5%	35.0%
N° 4	4.76	96.3%	8.4%	2.0%
N° 8	2.36	72.8%	1.4%	1.0%
N° 30	0.60	30.1%	0.6%	0.9%
N° 200	0.075	9.7%	0.5%	0.8%

Tabla 4.10. Granulometría de los agregados.

Para establecer una curva granulométrica dentro del huso establecido, se requiere que los porcentajes en peso de los componentes de los áridos sean: grava ¾" con 50%, grava ½" con 28%, arena triturada con 22%. Por tanto, la granulometría combinada de la mezcla total de áridos y la especificación (MD-1) se muestran a continuación su análisis granulométrico y en la Tabla 4.4, un resumen de la información recopilada:

MALLA		% QUE PASA		
ASTM	Mm	Combinada	MD – 1	
			Mínimo	Máximo
3/4"	19	100.0%	100	100
1/2"	12.50	87.4%	70	100
3/8"	9.50	72.3%	50	75
N° 4	4.76	23.8%	15	32
N° 8	2.36	15.6%	9	20
N° 30	0.60	5.2%	5	12
N° 200	0.075	3.0%	3	7

Tabla 11.4. Granulometría combinada de los agregados.

4.1.2. CEMENTO ASFÁLTICO

El asfalto utilizado es un AC – 30 RASA (Refinería Petrolera Acajutla S.A. de C.V.) modificado con elastómeros del tipo SBS y plastómero de marca SASOBIT® proporcionado por los laboratorios de ASFALCA S.A. de C.V.

Las pruebas que se le realizaron a este asfalto están basadas en los requisitos encontrados en la norma colombiana 453 – 07 “Mezcla Drenante”. Los ensayos del ligante asfáltico son: penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica por torsión y se describen a continuación.

4.1.2.1 ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO.

El punto de ablandamiento se define como la temperatura que necesita el asfalto para alcanzar un determinado estado de fluidez. Este ensayo está basado en la norma AASHTO T 53-96 (2000) con norma equivalente en la

norma ASTM D 36-95 o INV 712. Este método de ensayo cubre la determinación del punto de ablandamiento del asfalto en un rango de 30 a 157 °C (86 a 315 °F) utilizando el método del anillo y la esfera sumergidos en agua destilada (30 a 80 °C).

Dos discos horizontales de asfalto, vertidos en anillos de bronce, son calentados a una tasa de temperatura controlada en un baño líquido mientras cada disco soporta una esfera de acero con diámetros de 9.5 mm (3/8 pulg), teniendo una masa de 3.50 ± 0.05 g cada una. El punto de ablandamiento es reportado como la temperatura media a la cual los dos discos se ablandan suficientemente hasta dejar caer cada esfera, envueltas en asfalto, hasta descender a una distancia de 25 mm (1.0 pulg) (ver fotografía 4.2).

Las dimensiones de los discos y de los anillos de bronce se presentan en la figura 4.1 y los resultados del ensayo de punto de ablandamiento del asfalto AC-30 modificado con SBS y SASOBIT® se muestran en la tabla 4.5.



Fotografía 4.2. Caída de esferas en ensayo de punto de ablandamiento.

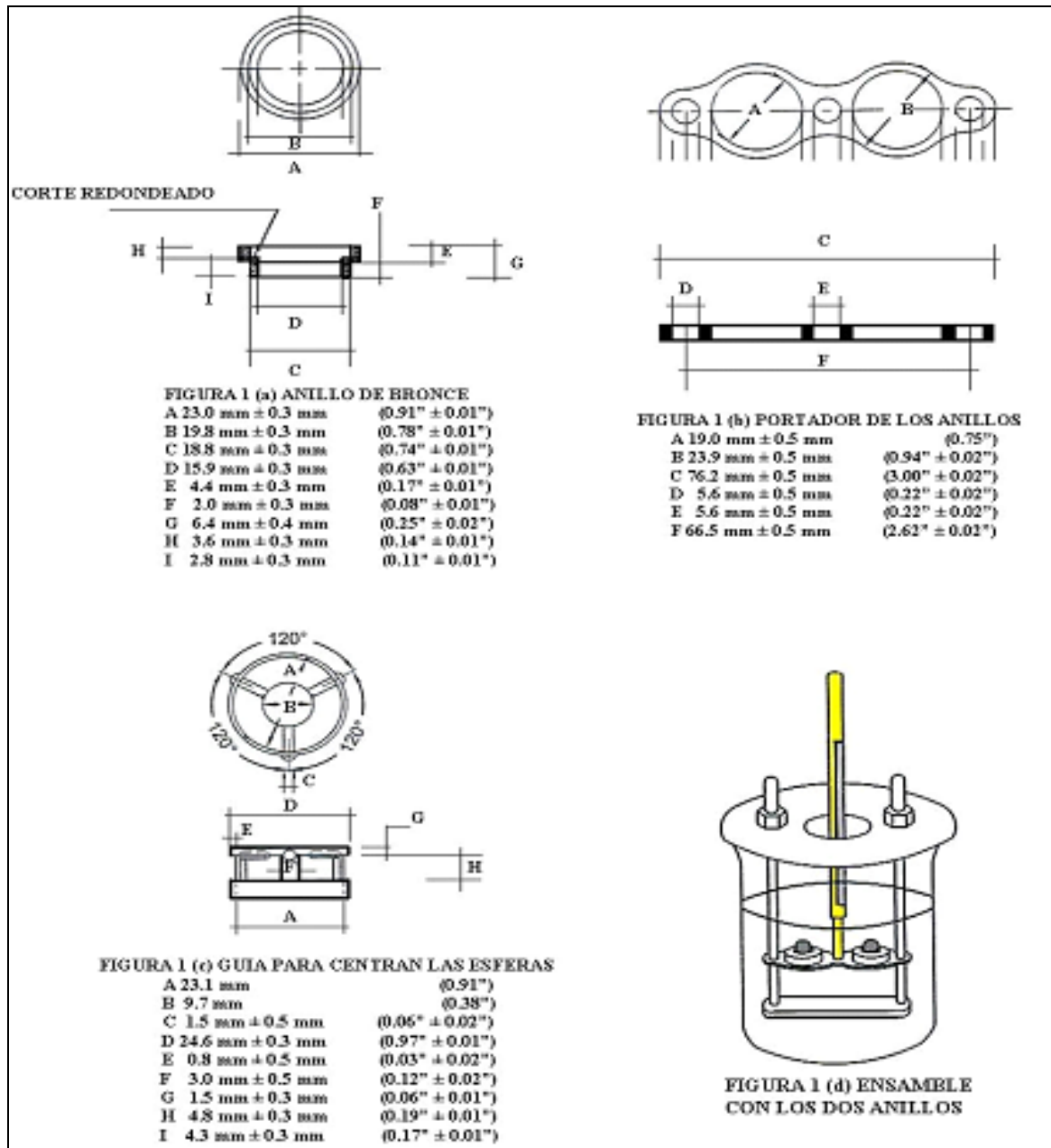


Figura 4.9. a) Anillo de bronce. b) Portador de anillos. c) Guías para centrar las esferas. d) Equipo ensamblado con los dos anillos.⁵⁴

⁵⁴ ASTM D 36-95 Determinación del punto de ablandamiento por el método de anillo y bola.

4.1.2.2 ENSAYO DE PENETRACIÓN.

Este ensayo es realizado basado en la norma ASSHTO T 49-03 con equivalencia en la norma ASTM D 5-97 o INV 706. Para ser efectuado es necesario que una muestra de asfalto sea derretida y enfriada bajo condiciones controladas.

La penetración es medida con un penetrómetro (ver fotografía 4.3) que sea capaz de indicar la profundidad de penetración de una aguja estándar en la muestra de asfalto con una aproximación de 0.1 mm. La aguja es acero inoxidable de aproximadamente 50 mm (2 pulg) de largo y de diámetro entre 1.00 a 1,02 mm (0.0394 a 0.0402 pulg).



Fotografía 4.3. Penetrometro

La muestra de asfalto es colocada en una capsula de 55mm de diámetro y de 35 o 70 mm de profundidad interna dependiendo del grado de penetración. El

asfalto se deja enfriar en la capsula por 1.5 horas y después por una hora y media más en baño de maría a 25°C.

Las condiciones de ensayo con las que se desarrollo la prueba de penetración fueron en la temperatura, la carga, y el tiempo, de 25 °C (77 °F), 100 g, y 5 s, respectivamente.

Se realizaron 2 muestras de asfalto AC 30 modificado con SBS y SASOBIT® a las que se le ensayo 3 penetraciones cada una. El promedio de los datos arrojados se encuentran en la tabla 4.5.

4.1.2.3 ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN.

Esta prueba permite determinar la recuperación elástica torsional del asfalto mediante un dispositivo de torsión, que hace girar la muestra analizada un ángulo de 180°, para después, en un tiempo determinado, medir el ángulo recuperado.

Esta basado en la INV- 727 con equivalencia en la NLT 329 “Recuperación Elástica por Torsión de Asfaltos Modificados”.

El aparato de torsión está provisto de un vástago capaz de imponer un esfuerzo de torsión a la muestra, constituido fundamentalmente por: cilindro metálico, semicorona con escala graduada de 0 a 180° o de 100 a 0 % para lectura directa.

La muestra de asfalto es colocada en el cilindro metálico (ver fotografía 4.4) y se deja enfriar por una hora y media para luego ser colocado en baño de maría a 25°C por 90 minutos más.



Fotografía 4.4. Vertido de asfalto en el cilindro metálico para recuperación elástica.

Después de transcurrido el tiempo indicado, el pasador es colocado en el aparato de torsión y se gira la aguja 180° en el sentido de la agujas del reloj en un tiempo de 3 a 5 seg. Después de 30 ± 1 s se procede a la lectura indicada por el aparato de torsión. La lectura al final de la prueba es el valor del ángulo recuperado.

El resultado de la prueba se expresa como recuperación por torsión, en porcentaje de ángulo recuperado con respecto al inicial de 180° , aplicando la siguiente fórmula:

$$R_e = R \times \frac{100}{180}$$

Donde:

R_e = Recuperación torsional, %

R = ángulo recuperado.

Se realizaron 2 recuperaciones elásticas para el asfalto AC 30 modificado con SBS y SASOBIT®, y el porcentaje promedio de la recuperación torsional se encuentra representado en la tabla 4.5.

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO	VALOR OBTENIDO
Penetración a 25°C (100 g, 5 s, 0,1 mm)	INV E – 706 ASSHTO T 49-03 ASTM D 5-97	55
Punto de Ablandamiento con aparato de anillo y bola	INV E – 712 ASTM D 36-95. AASHTO T 53-96	60.0 °C
Recuperación Elástica por torsión a 25°C	INV E – 727 NLT 329	43.3 %

Tabla 4.12 Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímero.

Según la Norma ASTM D5976, el asfalto es un modificado tipo I, dentro de esta clasificación las normas colombianas en el artículo 400 sobre las disposiciones generales de asfaltos en caliente, se considera un asfalto de TIPO II al cumplir con las exigencias de penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica.

4.1.2.4 CARTA DE VISCOSIDAD DEL ASFALTO.

Para la elaboración de las briquetas de ensayo, se deben poseer las temperaturas de mezclado y compactación del asfalto, estos fueron determinados con base a la realización de la carta de viscosidad en donde se grafica la relación de la viscosidad que posee el asfalto a diferentes temperaturas. En la figura 4.2 se muestran la relación de la viscosidad vs Temperatura del Asfalto Modificado con SBS y SASOBIT®, y a la vez es presentado el del asfalto AC-30 sin modificar.

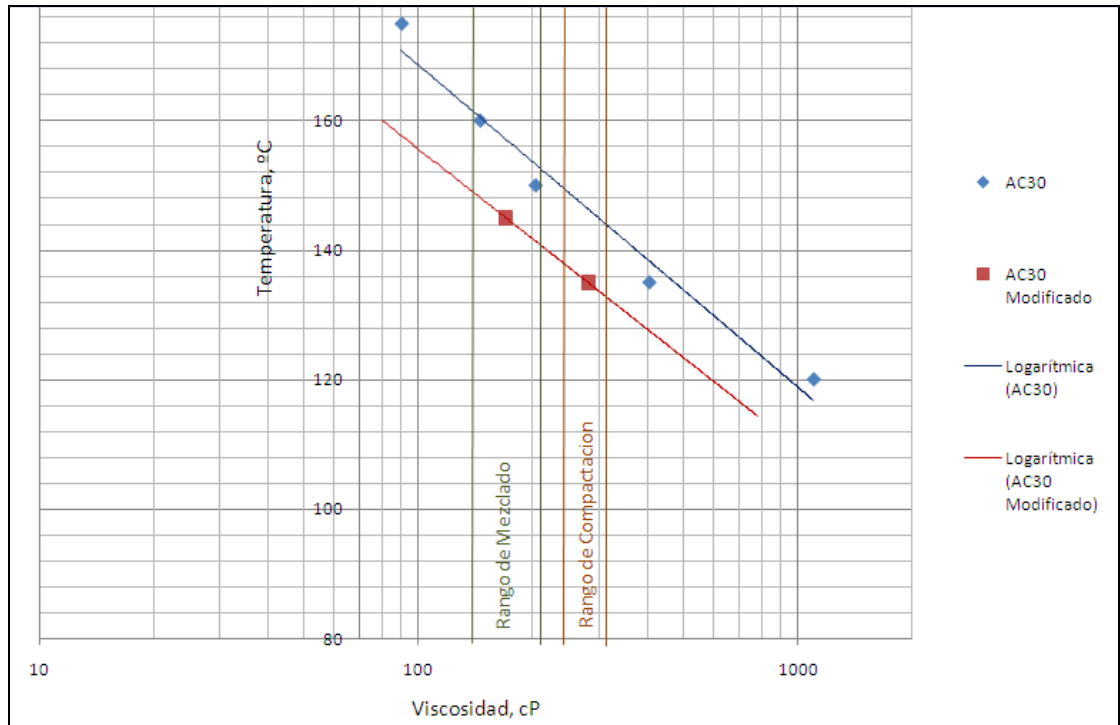


Figura 4.2 carta de Viscosidad de AC-30 sin Modificar y AC-30 Modificado con SBS y SASOBIT®.

La carta de viscosidad del asfalto AC – 30 fue suministrada por la empresa proveedora RASA de C.V., y la carta del asfalto modificado con SBS y SASOBIT® fue realizada con un viscosímetro en los laboratorios de ASFALCA S.A. de C.V. pudiendo sólo identificar los dos puntos necesarios para determinar las temperaturas de mezclado y compactación de la mezcla.

El procedimiento fue basado en la norma ASTM D 2493 “Viscosiy-Temperature Chart for Asphalt”, en la que establece que el asfalto debe ser calentado a las temperaturas deseadas, para luego medir con el aparato la viscosidad en centiPois.

Basado en la norma NLT 159 “Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall” con equivalencia en la AASHTO: T 245, las temperaturas de mezcla y compactación serán las necesarias para que su viscosidad sea de 170 ± 20 cP (85 ± 10 SSF) en el proceso de mezcla y de 280 ± 30 cP (140 ± 15 SSF) en el de compactación. Estas viscosidades son alcanzadas, según la carta de viscosidad del asfalto modificado, a las temperaturas de 145° y 135°C para mezclado y compactación respectivamente.

Se observa que las temperaturas de mezclado y compactación del asfalto modificado son menores que las del AC-30 sin modificar (156° y 144°C respectivamente), ya que el asfalto modificado es un asfalto para mezclas semicalientes al tener presente en su composición el aditivo SASOBIT.

4.2 PREPARACIÓN Y FABRICACIÓN DE BRIQUETAS CILINDRICAS PARA EL ENSAYO CÁNTABRO

Las mezclas drenantes se diseñan a partir de briquetas cilíndricas tipo Marshall, confeccionadas como se describe en la norma de ensayo INV E – 760 “Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste” con equivalencia a la NLT 352. En general, el número mínimo de briquetas para fabricar es de tres por cada mezcla. En este caso se realizaran tres briquetas por cada punto de asfalto para las diferentes pruebas a desarrollarse.

4.2.1 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Las briquetas se fabrican individualmente con las distintas fracciones de áridos con los que se disponga para la composición de la mezcla, los cuales se secan en estufa a $105 - 110^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante y se separan por cuarteo para obtener el peso combinado necesario que se mezclare con el asfalto según el

porcentaje seleccionado. La cantidad de ligante necesaria para la fabricación de las briquetas se calienta en un cazo pequeño tapado, en una estufa.

4.2.2.1 Elaboración de la mezcla.

Es necesario realizar una briketa inicial que servirá para la corrección de masa basado en las directrices de la MS-2 "Mix Design Methods" del Instituto de Asfalto, es decir, para obtener una altura de 61.25mm y 101.6 mm de diámetro establecido en la norma ASTM D 1559. Para lograr lo anterior se dieron los siguientes datos:

DATOS REQUERIDOS	PESOS OBTENIDOS
Peso total de los áridos	950 g
Peso de grava ¾" (50%)	475 g
Peso de grava ½" (28%)	266 g
Peso de arena triturada (22%)	209 g
Peso del asfalto (3.5% del peso total de áridos)	33.25 g

Tabla 4.13 Pesos para realizar corrección de masa

En el momento en que los áridos han adquirido una temperatura que sea como máximo unos 30°C superior a la especificada para el mezclado, se procede a formar un cráter en el centro del recipiente que contiene los áridos y se añade por pesada la cantidad exacta de ligante calculada para la mezcla.

En este momento la temperatura de ambos materiales debe estar dentro de los límites especificados para el proceso de mezclado según la carta de viscosidad. Se mezcló (ver fotografías 4.5, 4.6 y 4.7) y se compactó según lo establecido.

Luego se tomaron los valores de 3 alturas y de 2 diámetros de la briqueta fabricada para obtener la corrección de masa de la siguiente forma:

Alturas: 63.16 mm, 63.14 mm, 63.15 mm. Promedio de alturas: 63.15 mm.

Altura requerida: 61.25 mm.

$$W_p = \frac{W_{po} \times H}{H_p}$$

Donde: W_p = Peso del pétreo a utilizar

W_{po} = Peso inicial del pétreo

H = altura requerida

H_p = promedio de alturas

$$W_p = \frac{950 \text{ g} \times 61.25 \text{ mm}}{63.15 \text{ mm}} = 921.4 \text{ g}$$

Por errores que puedan ocurrir en el mezclado y en la manipulación de la mezcla se utilizara un peso de 924 g para realizar las briquetas restantes.



Fotografía 1.5. Proceso de mezclado del pétreo con el asfalto.



Fotografía 4.6. Mezclado del asfalto con el pétreo.



Fotografía 4.7. Finalización del proceso de mezclado. Pétreo totalmente recubierto.

Los pesos a utilizar para la elaboración de las briquetas son los contenidos en la tabla 4.7. El procedimiento es el mismo descrito anteriormente.

MATERIAL	PESOS A UTILIZAR
Total de áridos	924 g
Grava ¾" (50%)	462 g
Grava ½" (28%)	259 g
Arena triturada (22%)	203 g
3.5% de asfalto	32 g
4.0% de asfalto	37 g
4.5% de asfalto	42 g
5.0% de asfalto	46 g

Tabla 4.14. Pesos de los materiales para fabricas briquetas.

Los áridos son calentados a $150^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$ y el asfalto es llevado a una temperatura de 150°C según lo indicado en la carta de viscosidad. Es necesario colocar la mezcla en la cocina para que durante el proceso de mezclado no se pierda temperatura y para facilitar el mezclado del ligante con los pétreos.

4.2.2.2 Compactación de las briquetas

Con la mezcla a temperatura de compactación, se dispone a colocarla en un molde Marshall (ver fotografía 4.8) con dimensiones mostradas en la figura 4.3, esto según la norma NLT 159. El molde debe de estar previamente calentado y en el fondo del molde debe encontrarse un papel parafinado que evitará que la mezcla se pegue al martillo compactador y al fondo del molde.



Fotografía 4.8. Colocación de la mezcla en el molde Marshall.

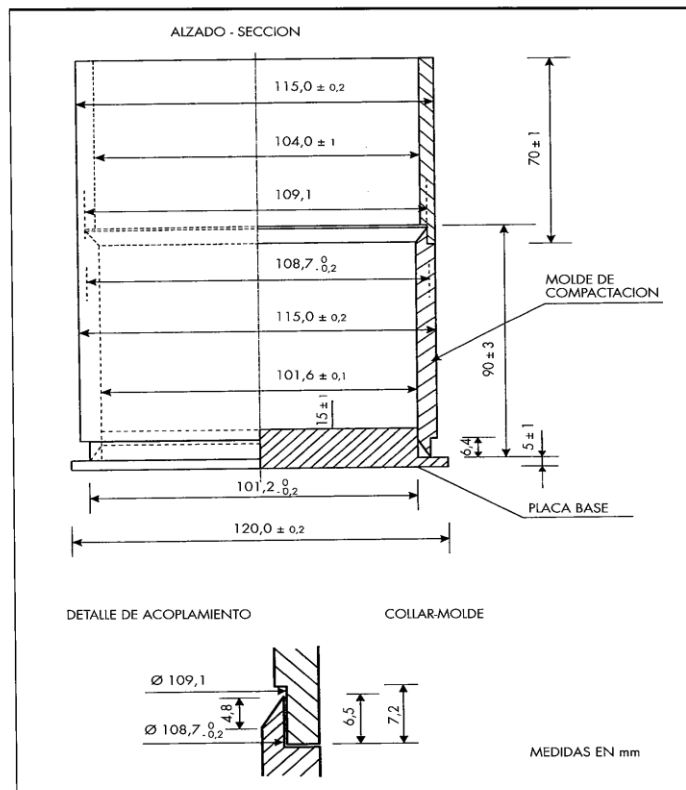


Figura 4.3. Conjunto de compactación.⁵⁵

⁵⁵ NLT 159 "Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall".

Para la compactación es utilizado un martillo Marshall formado por una masa de compactación de 3.96 ± 20 g de masa y un pisón de 4.55 ± 20 g montado de forma que se pueda conseguir una caída libre del mismo sobre la base desde una altura de 460 ± 3 mm. Según la norma NLT 159, el martillo compactador debe tener las dimensiones mostradas en la figura 4.4.

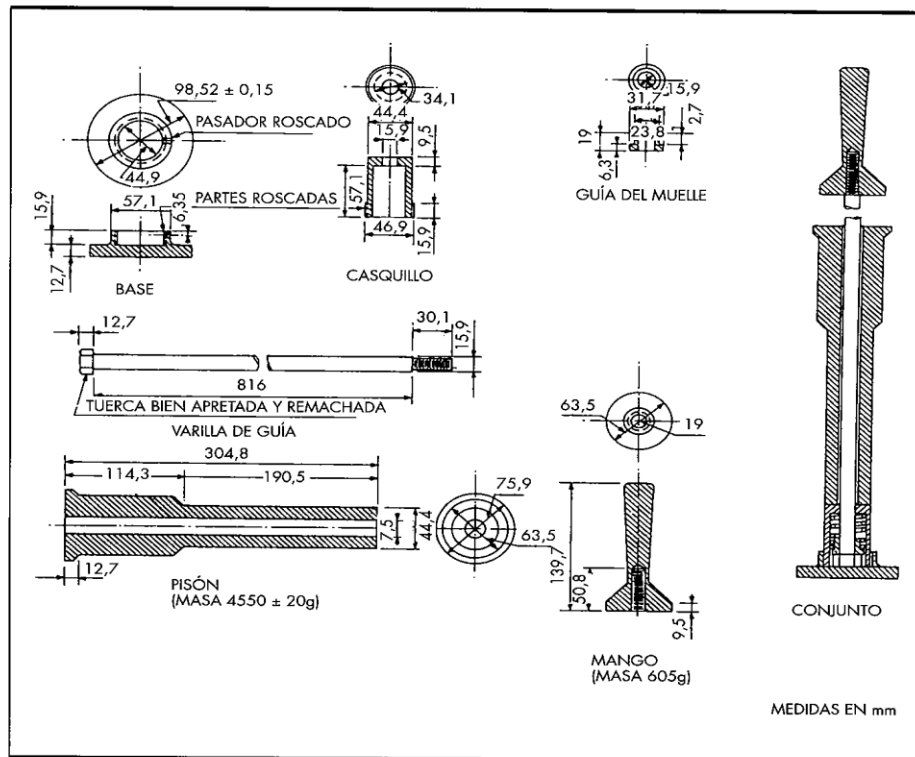


Figura 4.4. Maza de compactación para el aparato Marshall.⁵⁶

La mezcla asfáltica es colocada de tal manera que el material fino se encuentre en ambas caras de la briqueta para proporcionar un buen acabado.

Basados en la norma NLT 352 “Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste”, la energía de compactación será de 50 golpes por cada cara empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos anteriormente.

⁵⁶ NLT 159 “Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall”.

Inmediatamente después de compactada la briqueta, debe ser removida el papel parafinado, y se espera un tiempo mínimo de 2 horas antes de extraerla del molde.

4.2.2.3 Peso y Volumen de las briquetas

Después de ser desmoldadas las briquetas se procede a tomar el peso de cada una de las briquetas a través de una balanza de 0.1 g de precisión (ver fotografía 4.9) y cuatro medidas de diámetro y cuatro medidas de altura de las briquetas tomadas por medio de un Vernier (ver fotografía 4.10).



Fotografía 4.9. Pesado de briquetas.



Fotografía 4.10. Medición de las briquetas.

Las medidas son necesarias para que con el promedio sea obtenido el volumen de la briqueta. Se muestra en la tabla 4.8 los volúmenes y pesos de las briquetas ensayadas a cántabro seco, ensayo que arroja datos de cohesión de la mezcla.

BRIQUETA	PROMEDIO		VOLUMEN (mm ³)	PESO (gr)
	ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)		
1A	61.800	101.775	502.760	929.1
2A	61.363	102.275	504.118	930.1
3A	61.913	101.700	502.933	928.8
1B	62.375	101.638	506.067	936.6
2B	61.825	101.638	501.605	929.5
3B	61.675	101.475	498.789	931.5
1C	61.550	101.463	497.656	934.2
2C	61.725	101.675	501.163	946.6
3C	61.275	101.550	496.287	929.6
1D	63.138	102.325	519.207	939.3
2D	62.525	102.525	516.182	939.9
3D	62.375	101.725	506.939	937.7

Tabla 4.15. Datos de las briquetas fabricadas para ensayarla a cohesión.

NOTA: La nomenclatura utilizada para distinguir las briquetas es un número acompañada con una letra. El número indica el número de la briqueta y la letra el porcentaje de ligante usado para la mezcla (A=3.5%; B=4.0%; C=4.5%; D=5.0%). Así, la briqueta 1A se refiere a la briqueta #1 con el 3.5% de ligante.

4.3 DENSIDAD Y ANÁLISIS DE HUECOS

Una vez desmoldadas las briquetas y tan pronto como se hayan enfriado a temperatura ambiente, se determina la densidad y contenido de huecos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales, según la norma NLT 168 “Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas” o su equivalencia en la ASTM D – 3203 “Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures”.

4.3.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BULK DE CADA BRIQUETA.

El procedimiento para obtener la densidad relativa aparente o densidad bulk consiste en dividir el peso de la biqueta por su volumen. El volumen se determina por medida geométrica de la biqueta ya que es una mezcla abierta. El volumen a utilizar es el obtenido con el pie de rey; la densidad relativa aparente de la muestra se obtiene de la siguiente forma:

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times h}$$

Donde:

A= masa en g de la muestra seca pesada en aire.

d= diámetro de la muestra en cm

h= altura de la muestra en cm.

En la tabla 4.9 se presentan las densidades bulk (densidad relativa aparente) de las briquetas ensayadas para cuantificar la cohesión de la muestra:

Briqueta	Densidad Bulk (g/cm ³)	Briqueta	Densidad Bulk (g/cm ³)	Briqueta	Densidad Bulk (g/cm ³)	Briqueta	Densidad Bulk (g/cm ³)
1A	1.84800	1B	1.85074	1C	1.87720	1D	1.85749
2A	1.84501	2B	1.85305	2C	1.88881	2D	1.87587
3A	1.84677	3B	1.86752	3C	1.87311	3D	1.85170

Tabla 4.16. Densidades relativas aparentes de briquetas para cohesión.

4.3.2 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (ENSAYO RICE).

Este procedimiento está basado en la norma INV 735 “Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmm)” o su equivalente ASTM D 2041-00 “Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures” y es realizado para cada porcentaje de asfalto.

Para realizar el ensayo RICE se prepara un peso aproximado de 2,000 gr de mezcla asfáltica sin compactar según el procedimiento del literal 4.2.2.1. Una vez la muestra haya sido mezclada y mientras esta tibia, las partículas de la mezcla asfáltica se separan con las manos (ver fotografías 4.11 y 4.12), teniendo cuidado de no fracturar el agregado y tratando que las partículas de agregado fino no sean mayores de 6 mm.



Fotografía 4.11 Desmenuzado de partículas de asfalto.

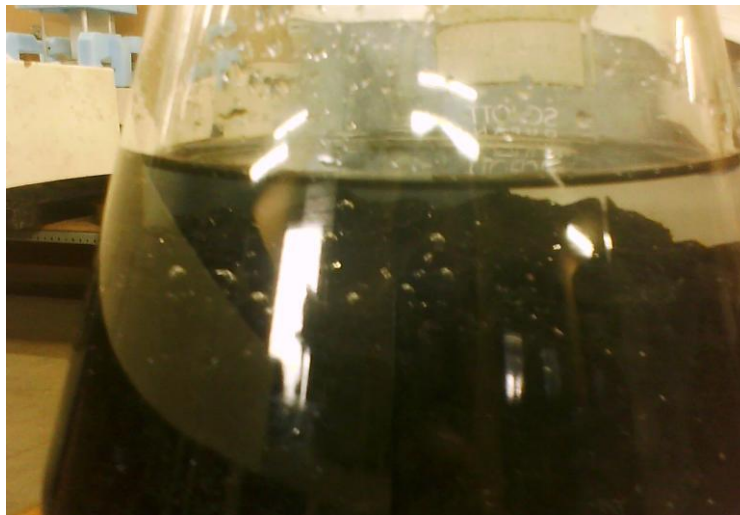


Fotografía 4.12 Partículas desmenuzadas.

Se obtiene un peso seco de la mezcla de 1500 g de la mezcla separada designando a este peso como "A". Luego es colocada en un picnómetro (ver fotografía 4.13) o en un matraz aforado. Se añade el agua suficiente a una temperatura de aproximadamente 25°C (77°F), para cubrir completamente la muestra dentro del picnómetro (ver fotografía 4.14). Se coloca en la cubierta del frasco un tapón que selle el picnómetro.



Fotografía 4.2. Picnómetro.



Fotografía 4.34. Picnómetro mas agua.

Se coloca el recipiente con la muestra y el agua en una superficie plana (ver fotografía 4.15). Se inicia la agitación para comenzar inmediatamente a retirar el aire atrapado en la muestra, aumentando gradualmente la presión hasta que el manómetro de presión residual lea 3.7 ± 0.3 kPa (27.5 ± 2.5 mm de Hg). El vacío debe lograrse en 2 min.



Fotografía 4.45. Equipo de agitación y picnómetro.

Una vez que el vacío se logra, se continúa el vacío y la agitación por 15 ± 2 min. Luego de desairada la muestra, aforar el picnómetro con agua a temperatura de 25°C (ver fotografía 4.16) y pesar el picnómetro aforado más la mezcla y se denomina este peso como “E”. Se pesa el picnómetro aforado sólo con agua y se asigna como “D”.



Fotografía 4.56. Aforo del picnómetro.

Para obtener la densidad RICE se debe realizar el siguiente cálculo:

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

Donde: G_{mm} = Gravedad específica máxima de la mezcla.

A = Masa de la muestra seca en aire, g.

D = Masa del picnómetro aforado con agua a 25° C, g.

E = Masa del picnómetro aforado con agua a 25° C mas la muestra, g.

Para la mezcla asfáltica drenante con cada porcentaje de ligante se presentan las densidad RICE en la tabla 4.10

Pesos	Porcentaje de asfalto			
	3.50%	4.00%	4.50%	5.00%
Peso inicial del pétreo, gr	1838	1865	1945	1867
Peso del asfalto, gr	64.33	74.4	87.525	93.35
Peso seco de la mezcla (A), gr	1500	1500	1500	1500
Peso del picnómetro + muestra + agua (E), gr	4438	4432	4430	4421
Peso del picnómetro + agua (D), gr	3544	3544	3544	3544
Densidad RICE	2.4752	2.4510	2.4430	2.4077

Tabla 4.17. Gravedad Específica Máxima de la mezcla de acuerdo al porcentaje de ligante.

4.3.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACIOS DE CADA BRIQUETA.

Los huecos de una mezcla compactada representan la diferencia entre el volumen aparente de la mezcla y el volumen teórico ocupado por el betún y los áridos. Esta diferencia, por unidad de volumen aparente es equivalente a la

expresión $1 - \frac{D_p}{D_{max}}$, siendo D_p la densidad bulk de la mezcla compactada. El tanto por ciento de huecos en la mezcla, %H será por consiguiente:

$$\%H = \left(1 - \frac{D_p}{D_{max}}\right) 100\%$$

Donde D_{max} es la gravedad específica máxima o Densidad RICE.

Para cada una de las briquetas ensayadas para Cohesión, se tienen los siguientes porcentajes de huecos:

Briqueta	Densidad Bulk (g/cm3)	Densidad Rice (g/cm3)	% vacios
1A	1.8480	2.4752	25.341
2A	1.8450	2.4752	25.462
3A	1.8468	2.4752	25.391
1B	1.8507	2.4510	24.490
2B	1.8531	2.4510	24.396
3B	1.8675	2.4510	23.805
1C	1.8772	2.4430	23.160
2C	1.8888	2.4430	22.685
3C	1.8731	2.4430	23.327
1D	1.8575	2.4077	22.852
2D	1.8759	2.4077	22.089
3D	1.8517	2.4077	23.093

Tabla 18. Porcentaje de Vacios de briquetas ensayadas para cohesión.

4.4 DETERMINACION DEL DESEMPEÑO DE LA COHESIVIDAD DE LA MEZCLA

Para el ensayo de cohesión, basado en la norma española NLT – 352 “Caracterización de mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de perdidas por desgaste”, se fabricaron 3 briquetas por cada contenido de asfalto dando un total de 12, que se mantuvieron a una temperatura ambiente de 25°C en laboratorio durante un tiempo de 14 horas.

Cabe aclarar que el método Cántabro establece un mínimo de 6 horas, por lo que al mantener el mismo tiempo de enfriado en todas las briquetas, se estarán sometiendo estas a las mismas condiciones. El ensayo permite valorar la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Se toma el peso y se anota como P_1 , y se determina el volumen de las briquetas, tal como se expuso en el apartado 4.2.2.3, los resultados se encuentran en la tabla 4.8. (Ver fotografía 4.17)



Fotografía 4.17 Briquetas antes de prueba cántabro seco.

Las densidades bulk y los contenidos de huecos que presentaron las briquetas ya fueron expuestos en las tabla 4.9 y 4.11.

A continuación del tiempo de enfriado, se introduce una briqueta en el bombo de la Máquina de Los Ángeles, y sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en la ASTM C-131 de 3.1 a 3.5 rad/seg (30 a 33 rpm), durante 100 vueltas.

La Máquina de los Ángeles debe cumplir con las especificaciones que la norma ASTM C-131 establece, a continuación se presenta en la figura 4.5 las dimensiones que debe poseer dicho aparato:

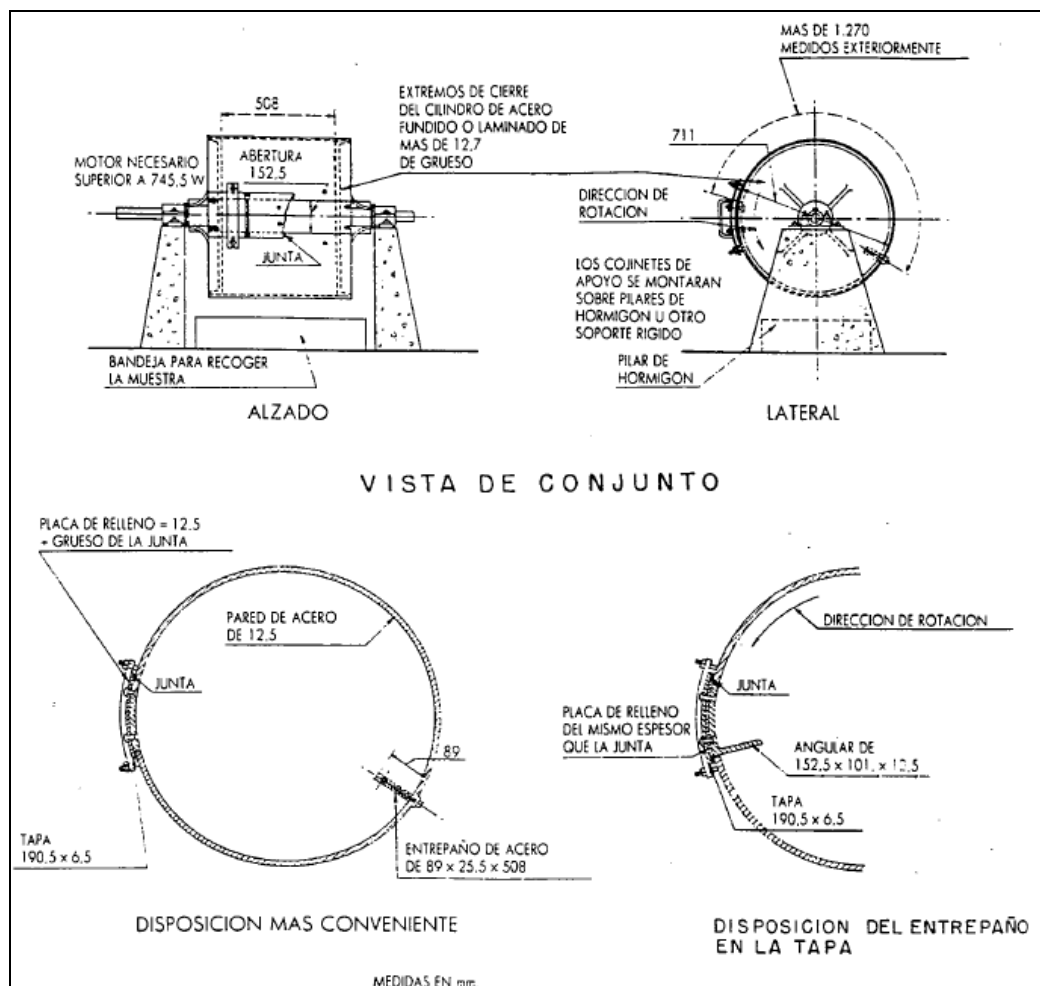


Figura 4.5 Conjunto de Maquina de Los Ángeles

Se saca la briqueta y se toma su peso, se devuelve al bombo de la Máquina de Los Ángeles, y se repite el procedimiento hasta alcanzar las 200 y 300 revoluciones en el contador. Estos pesos son anotados como P_2 , P_3 y P_4 con aproximación de 0.1 gr. El ensayo se repite para cada una de las briquetas preparadas para la prueba.

Se calcula el resultado de la pérdida por desgaste para cada briqueta a 100, 200 y 300 revoluciones, mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_n}{P_1} * 100\%$$

Donde:

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

P_1 = Masa inicial de la briqueta, en gramos.

P_n = Masa final de la briqueta, en gramos. P_2 = 100 revoluciones, P_3 = 200 revoluciones y P_4 = 300 revoluciones.

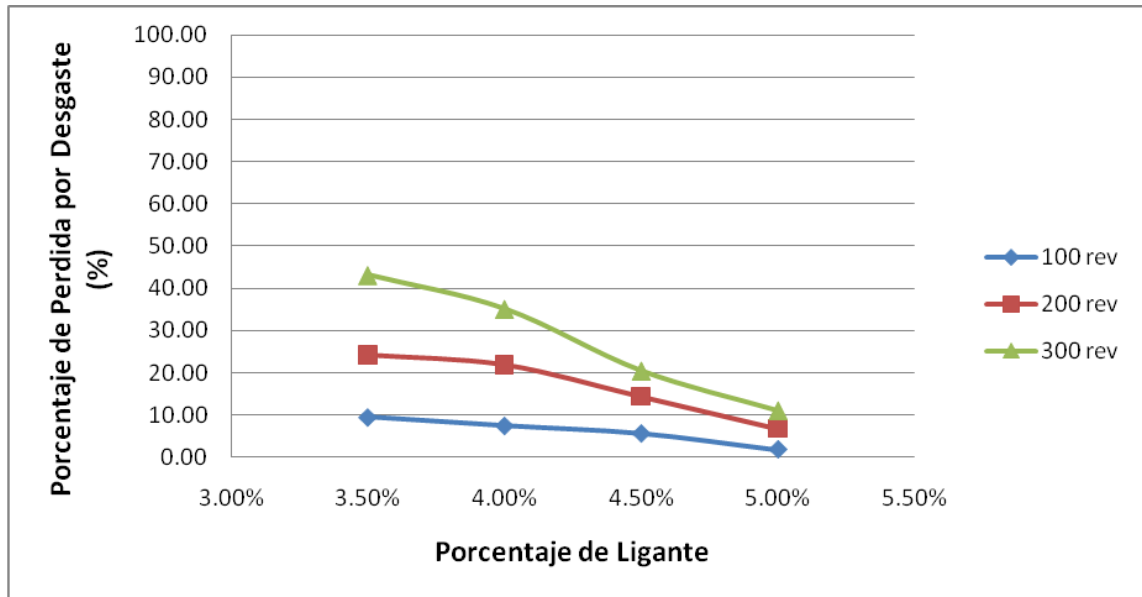
Se calcula el valor medio de todas las briquetas de un mismo porcentaje de ligante y misma cantidad de revoluciones,

Los resultados obtenidos en el ensayo aparecen en la tabla 4.12. Si representamos las pérdidas en seco obtenidas para cada uno de los porcentajes de ligante ensayados, en función del número de revoluciones del tambor, podrá observarse el incremento de las pérdidas al aumentar la severidad del ensayo (revoluciones).

En la gráfica 4.1 se representan las pérdidas por desgaste promedio obtenidas para cada uno de los porcentajes de ligante ensayados en función del número de revoluciones del tambor.

Porcentaje de ligante	Briqueta	100 revoluciones	200 revoluciones	300 revoluciones
3.5 %	1A	7.814	19.772	42.891
	2A	10.655	29.459	45.479
	3A	9.884	23.536	40.999
	Promedio	9.451	24.256	43.123
4.0 %	1B	7.517	20.094	32.511
	2B	7.595	26.196	41.796
	3B	7.160	19.484	31.068
	Promedio	7.424	21.925	35.125
4.5 %	1C	6.840	16.560	24.930
	2C	4.373	11.366	14.589
	3C	5.583	15.200	21.977
	Promedio	5.599	14.376	20.499
5.0 %	1D	1.799	8.687	13.967
	2D	0.691	4.979	10.639
	3D	2.815	6.579	8.648
	Promedio	1.769	6.749	11.085

Tabla 4.12 Pérdidas al Cántabro en Seco a 100, 200 y 300 revoluciones.



Gráfica 4.1 Pérdidas en ensayo Cántabro Seco a 100, 200 y 300 revoluciones para los diferentes porcentajes de ligante.

Las pérdidas por desgaste aumentan al tener mayor número de revoluciones en la Máquina de los Ángeles, y se vuelve más severo al pasar de las 300 revoluciones.

Entre los porcentajes de ligante presente en la mezcla, el porcentaje de 3.5% presenta pérdidas mayores (43.123%) que el de 4.0% (35.125%), y disminuyen a medida que se incrementa el contenido de ligante. Esta tendencia es lógica ya que al contar con más ligante, se obtendrá una mezcla con mayor capacidad de absorber la energía en el momento del impacto en el ensayo. Se recuerda que el ligante utilizado presenta propiedades elásticas (40% de recuperación elástica torsional) mucho mayores que las convencionales (recuperación elástica torsional menores de 10%).

4.5 DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL AGUA SOBRE LA ADHESIVIDAD DE LA MEZCLA.

Para determinar el efecto de desmenuamiento producido por el agua, se comparan los resultados obtenidos de realizar la prueba de ensayo cántabro mantenidas al aire, contra los resultados de las briquetas, fabricadas con los mismos porcentajes de ligante y misma granulometría, pero que han sido mantenidas en agua durante cierto tiempo antes del ensayo.

El ensayo está basado en la norma española NLT – 362 “Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste”. Se realizaron 3 briquetas por cada contenido de asfalto y se les sumergió 24 horas en un Baño de María a una temperatura de 60 °C (Ver Fotografía 4.18).



Fotografía 4.18. Briquetas sumergidas en baño de maría a 60°C.

A continuación del período de inmersión en agua, las briquetas permanecieron secándose al aire, a la temperatura de 25 °C durante 14 horas (mismo periodo de tiempo al aire en que permanecieron las del ensayo de cohesión).

Los pesos, volúmenes, las densidades bulk y los contenidos de huecos que presentaron las briquetas se muestran a continuación en la tabla 4.13:

Porcentaje de ligante	Briqueta	Volumen (cm ³)	Peso inicial (g)	Densidad Bulk (g/cm ³)	% vacios
3.5 %	1A	499.13	928.0	1.859	24.8867
	2A	518.37	931.5	1.797	27.4017
	3A	488.02	928.5	1.903	23.1348
4.0 %	1B	510.67	934.7	1.830	25.3227
	2B	501.12	938.0	1.872	23.6302
	3B	523.92	934.2	1.783	27.2499
4.5 %	1C	489.16	928.8	1.899	22.2767
	2C	500.37	941.6	1.882	22.9708
	3C	500.12	944.3	1.888	22.7119
5.0 %	1D	498.23	943.4	1.893	21.3569
	2D	497.74	947.1	1.903	20.9696
	3D	505.59	942.8	1.865	22.5508

Tabla 4.13 Densidades Bulk y Contenidos de Huecos para ensayo Cántabro Húmedo.

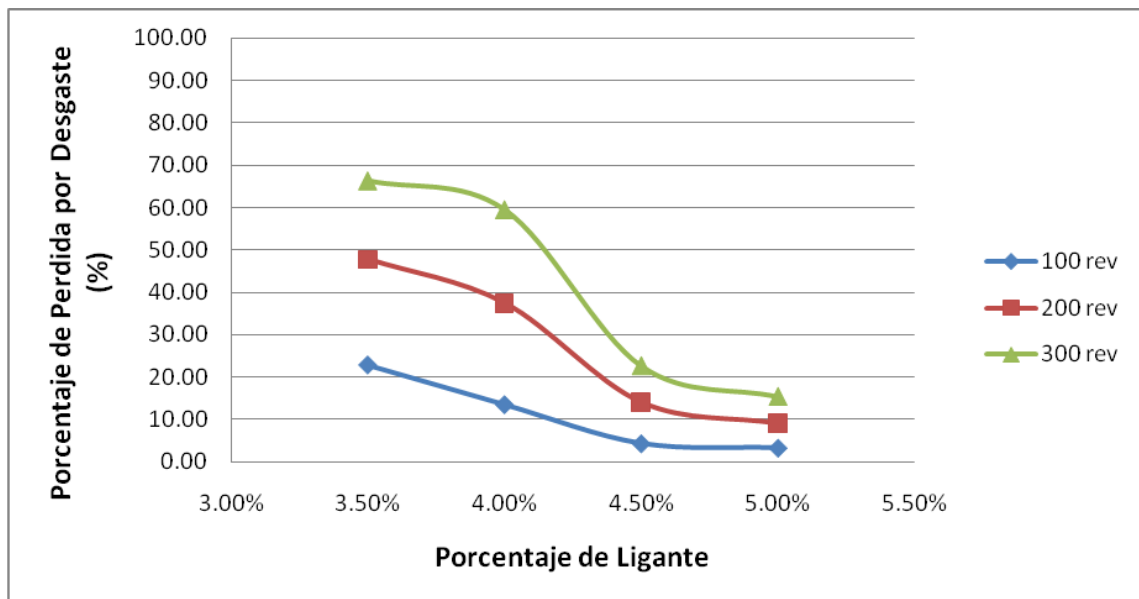
Se sigue el mismo procedimiento que el ensayo de cohesión, y se calculan los porcentajes de pérdida de la misma manera que la expuesta en el literal 4.4, a 100, 200 y 300 revoluciones.

Los resultados del ensayo de Cántabro Húmedo aparecen en la tabla 4.14.

En la grafica 4.2 se representan las pérdidas por desgaste promedio obtenidas para cada uno de los porcentajes de ligante ensayados en función del número de revoluciones del tambor.

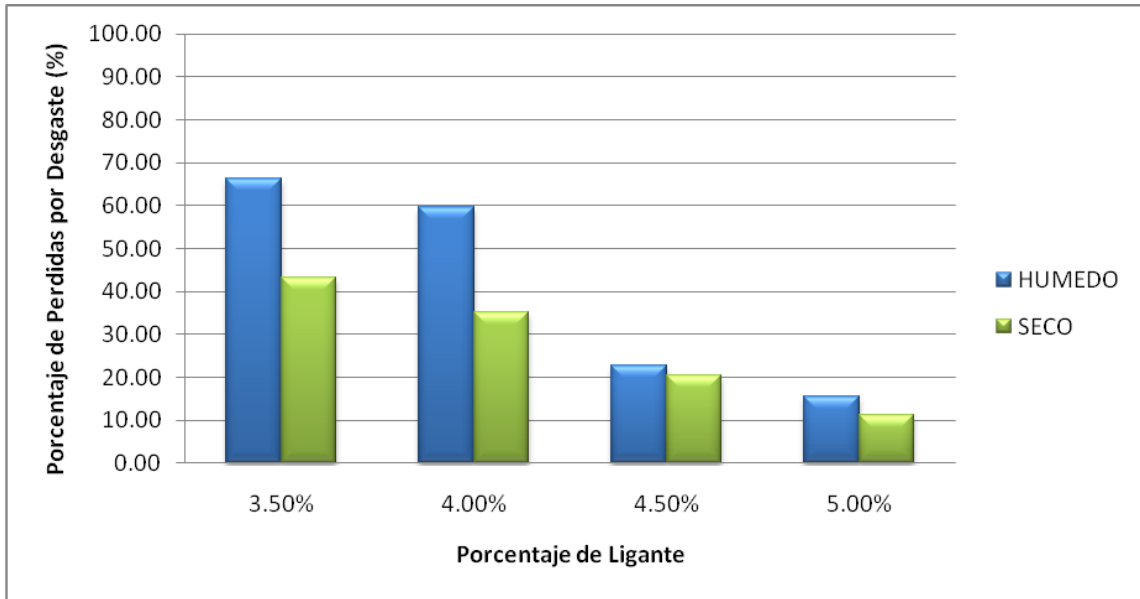
Porcentaje de ligante	Briqueta	100 revoluciones	200 revoluciones	300 revoluciones
3.5 %	1A	14.07	46.48	67.15
	2A	38.92	58.77	74.00
	3A	15.57	37.99	57.92
	Promedio	22.86	47.75	66.36
4.0 %	1B	15.65	47.79	62.60
	2B	9.91	21.56	47.42
	3B	14.96	42.98	68.56
	Promedio	13.50	37.44	59.53
4.5 %	1C	5.44	17.22	26.58
	2C	3.29	12.71	22.81
	3C	4.17	12.30	18.57
	Promedio	4.30	14.08	22.65
5.0 %	1D	2.20	5.83	8.06
	2D	2.67	6.41	14.30
	3D	4.93	15.05	23.83
	Promedio	3.27	9.10	15.40

Tabla 4.14 Pérdidas al Cántabro en Húmedo a 100, 200 y 300 revoluciones.



Grafica 4.2 Perdidas en ensayo Cántabro Húmedo a 100, 200 y 300 revoluciones para los diferentes porcentajes de ligante.

En la condición más severa (300 revoluciones), las pérdidas por desgaste en las briquetas tras inmersión fueron mayores en comparación con las que se mantuvieron solo a temperatura ambiente. La grafica 4.3 ilustra la diferencia que tuvieron las dos condiciones diferentes.



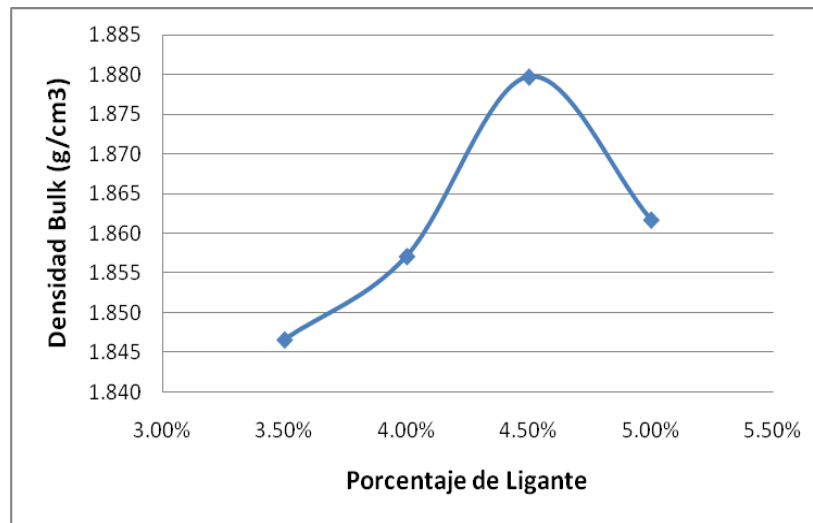
Grafica 4.3. Efecto del agua sobre las pérdidas por desgaste a 25°C. 300 revoluciones.

4.6 ELECCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE LIGANTE.

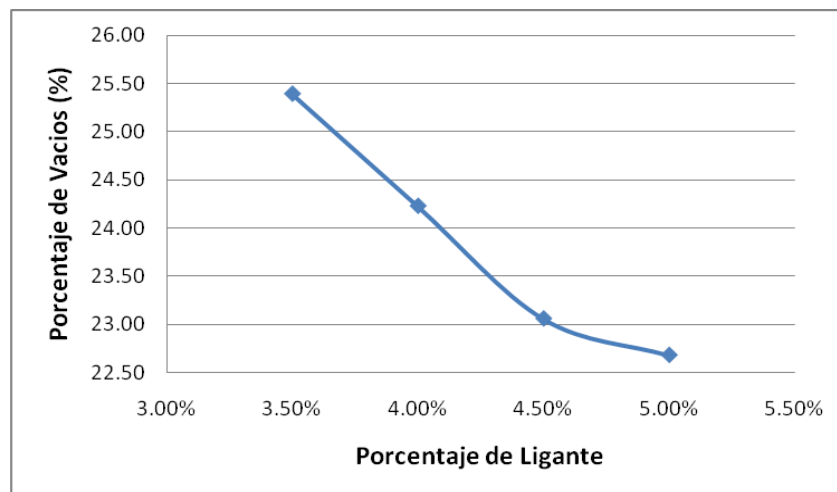
Para la determinación del óptimo contenido de asfalto en una mezcla de granulometría drenante, se preparó las tres briquetas por cada contenido de ligante, según los apartados 4.3 y 4.4 siguiendo el procedimiento de fabricación dado en el ensayo Marshall ASTM D-1559, el contenido de ligante para cada grupo de briquetas vario de 0,5 %, cuatro puntos diferentes que fueron 3.5%, 4.0%, 4.5% y 5.0% sobre el peso del agregado. A estas se les realizó la determinación de la gravedad específica bulk para mezclas de granulometría abierta (ASTM D-3203), la gravedad específica máxima teórica (ASTM D-2041), análisis de huecos (ASTM D-3203) con base a los parámetros anteriores, determinación de la pérdida por desgaste de la briquetas mediante el empleo de

la Máquina de los Ángeles (sin carga abrasiva), a 300 revoluciones, luego de mantener las briquetas a 25 ° C por el tiempo mínimo de 6 horas (NLT-352), que en este diseño se dejó de 14 horas.

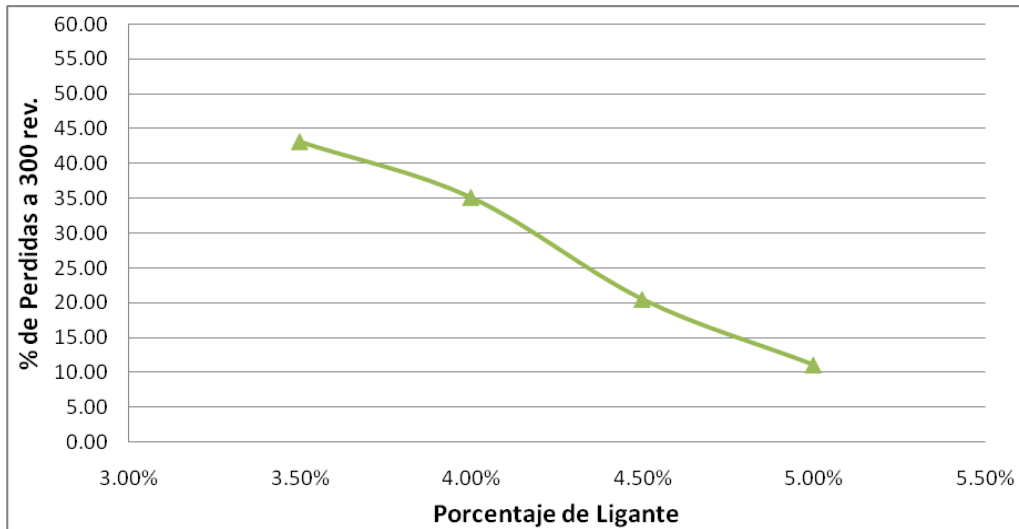
Con los datos obtenidos en los apartados 4.3 y 4.4 se grafican las relaciones densidad bulk (Gráfica 4.4), porcentaje de vacíos (Gráfica 4.5) y porcentaje de desgaste de las briquetas a 300 revoluciones versus porcentaje de ligante asfáltico (Gráfica 4.6).



Gráfica 4.4 Densidad bulk vrs. Porcentaje de Ligante Asfáltico.



Gráfica 4.5 Porcentaje de Vacíos vrs. Porcentaje de Ligante Asfáltico.



Gráfica 4.6 Porcentaje de Pérdidas al Desgaste a 300 revoluciones del ensayo de Cohesión vrs Porcentaje de Ligante Asfáltico.

El porcentaje óptimo será calculado como el promedio de los siguientes parametros:

1. El porcentaje de asfalto, de la gráfica 4.4, que posea la mayor densidad posible.
2. El porcentaje de asfalto, de la gráfica 4.5, que posea el mínimo porcentaje de vacíos de 20% y un máximo de 25%, en este diseño se opto por tomar un porcentaje de 23%
3. El porcentaje de asfalto, de la gráfica 4.6, que posea un mínimo de 20 % de perdida por desgaste al someterse hasta las 300 revoluciones en la Máquina de los Angeles.

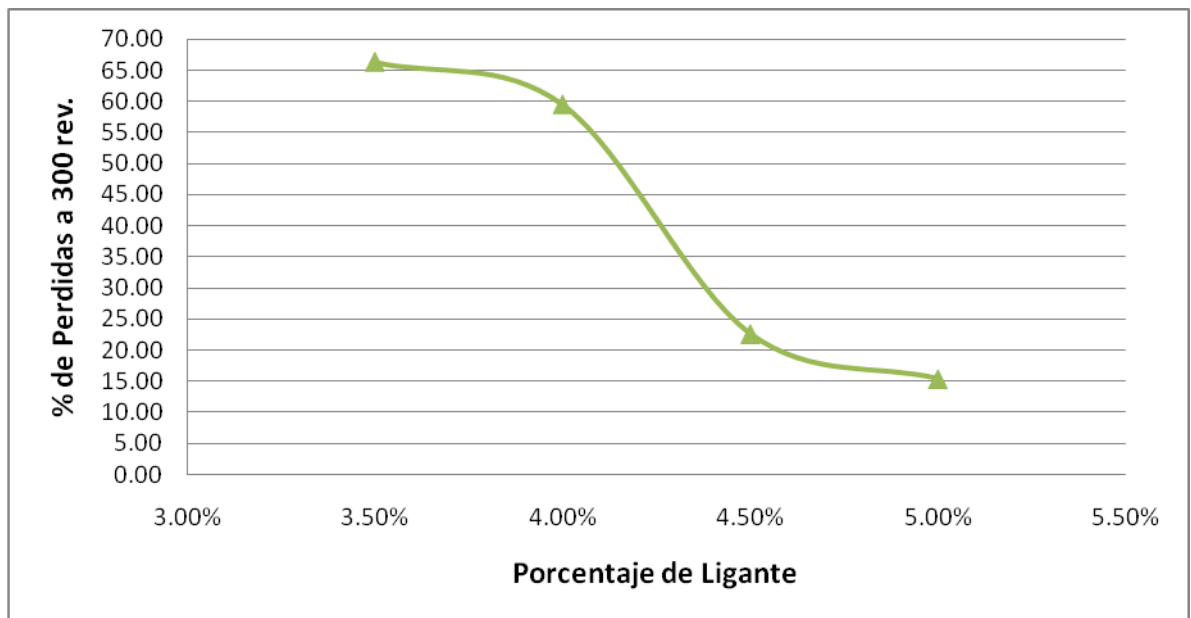
En la tabla 4.15 se resume el dato que proviene de cada gráfica, y el promedio de estas:

Porcentaje óptimo	
Densidad bulk	4.5%
Porcentaje de vacios	4.5%
Pérdida por desgaste	4.5%
Promedio:	4.5%

Tabla 4.15 Cálculo del porcentaje optimo de asfalto.

El promedio que presenta el diseño de mezcla es de: 4.5% de asfalto. Este valor tiene que ser comparado con el porcentaje de ligante que tenga un mínimo de pérdida por desgaste, en la prueba de adhesividad, de 40%. Si el porcentaje obtenido no cumpliera, se deberá optar por el contenido de ligante que satisfaga el parámetro mencionado.

Las pérdidas por desgaste a 300 revoluciones de la prueba de adhesividad se presentan en la gráfica 4.7.



Gráfica 4.7 Porcentaje de Pérdidas al Desgaste a 300 revoluciones del ensayo de Adhesion vrs Porcentaje de Ligante Asfáltico.

Se puede observar que el porcentaje óptimo por promedio de 4.5% posee una pérdida al desgaste en adhesividad menor del 40%, con un valor de 22.65%, por lo que podemos dar como satisfactorio el valor de 4.5% de ligante como el óptimo para la mezcla asfáltica semicaliente drenante.

4.7 EVALUACIÓN DE LA MEZCLA DRENANTE

4.7.1 ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA

El rango de temperaturas utilizado en este diseño fue de los 60°C hasta los 75°C, ya que las temperaturas más desfavorables a las que la mezcla pueda verse afectada dentro del territorio de El Salvador son menores de los 70°C.

Se realizaron 3 briquetas por cada contenido de asfalto y se mantuvieron en horno de aire forzado durante 14 horas a una temperatura constante (Ver Fotografía 4.19), después de retirarse del horno son inmediatamente ensayadas a 100, 200 y 300 revoluciones en la Máquina de los Ángeles. Este proceso se realizó para las temperaturas de 60°, 65°, 70° y 75°C. Al mantenerse constantes las condiciones de ensayo, todas las briquetas de un mismo grupo sufrirían la misma variación de temperatura, que no se considera excesiva dada la relativa rapidez del ensayo (10 minutos aproximadamente).

La tabla 4.16 recoge los valores promedios obtenidos de cada juego de 3 briquetas, según el procedimiento desarrollado, de las pérdidas por desgaste a distintas temperaturas para cada uno de los porcentajes de ligante asfáltico ensayados.

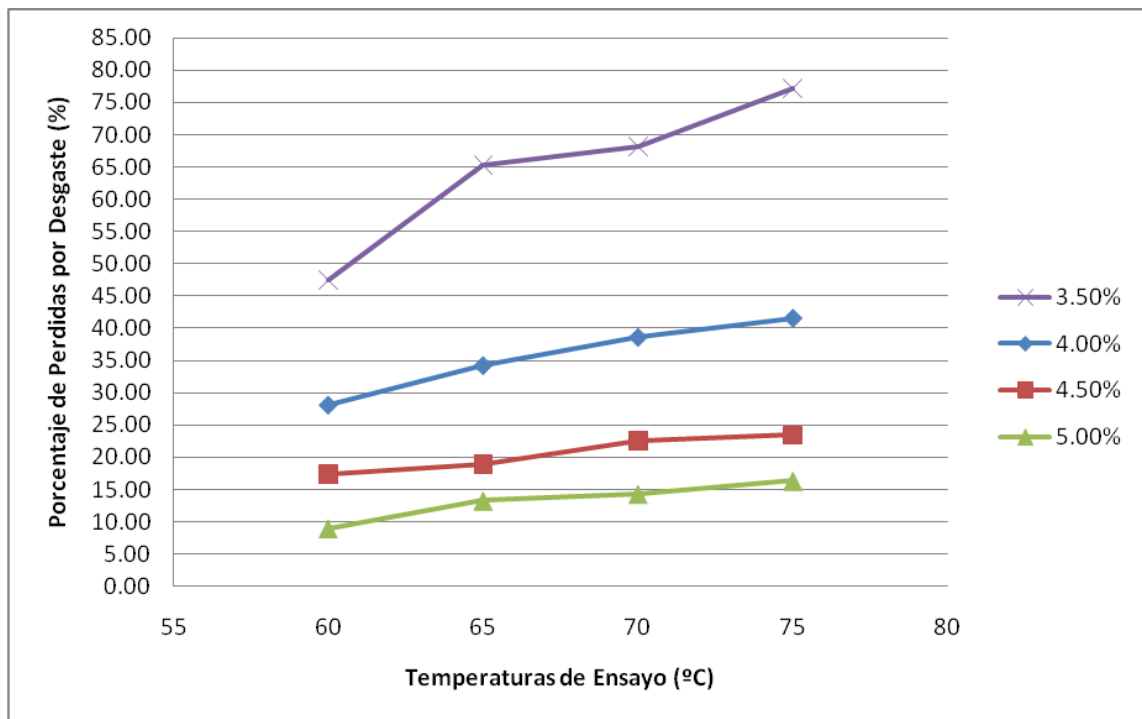


Fotografía 4.19 Briquetas dentro del horno de aire forzado

Nº Revoluciones	Temperatura °C	Porcentaje de Ligante			
		3.50%	4.00%	4.50%	5.00%
100	60	13.08	6.37	4.19	2.80
	65	18.72	7.69	4.95	3.23
	70	21.14	10.49	5.48	4.27
	75	31.98	9.90	4.23	4.97
200	60	28.08	13.87	10.75	6.09
	65	45.32	21.16	11.29	7.78
	70	52.59	18.82	12.16	8.81
	75	59.86	25.09	9.40	11.59
300	60	47.42	28.15	17.36	8.96
	65	65.24	34.24	18.93	13.28
	70	68.12	38.60	22.59	14.32
	75	77.21	41.55	23.42	16.36

Tabla 4.16 Pérdidas al cántabro a distintas temperaturas y diferentes grados de severidad del ensayo (100,200 y 300 revoluciones).

Con estos datos pueden trazarse las curvas de estado de cada porcentaje de ligante, para las temperaturas ya mencionadas. Estas curvas de estados vienen dadas de graficar las pérdidas al desgaste en el ensayo Cántabro vrs las diferentes temperaturas de ensayo, y cada curva representa un mismo porcentaje de ligante, véase que la Gráfica 4.8 muestra los datos a una severidad de 300 revoluciones, siendo esta la situación más crítica.



Gráfica 4.8 Efecto de la temperatura sobre las pérdidas por desgaste a 300 revoluciones.

Recordando el porcentaje óptimo de la mezcla es de 4.5%; la gráfica nos muestra que este porcentaje de ligante posee pérdidas menores del 20% hasta una temperatura entre los 65° y los 70°C. Por lo tanto, la mezcla puede presentar un buen comportamiento en zonas donde la temperatura del pavimento no sobrepase los 67°C. Y según la Investigación realizada por la UIDV del VMOP de El Salvador, la temperatura máxima registrada en la superficie de pavimentos asfálticos en las 9 zonas en estudio fue de 68.6°C

Pero incluso podrá observarse que hasta la temperatura de 75°C, la mezcla no presentó pérdidas mayores del 25.0%, y puede considerarse una diferencia pequeña para poder optar que la mezcla puede ser utilizable en las diferentes regiones de El Salvador.

4.7.2 ANÁLISIS DEL ENVEJECIMIENTO

Con cada porcentaje de ligante, se fabricaron series de 12 briquetas que se agruparon en 4 grupos de 3 briquetas cada uno. El primer grupo se reservó sin someterlo a ningún periodo de envejecimiento (0 horas), con el fin de disponer de una muestra sometida únicamente a las condiciones del proceso de mezcla. Los cuatro restantes permanecieron durante 2.5, 10 y 20 horas a la temperatura de 163 °C en un horno de aire forzado.

Dada la elevada temperatura a que estuvieron sometidas las briquetas, muy por encima del punto de ablandamiento del ligante, podría producirse el desmoronamiento de las mismas en el interior del horno, siendo imposible proceder a su ensayo. Por ello, se ideó en un dispositivo (Ver Fotografía 4.20) para confinar lateralmente las briquetas mediante una tela metálica, con tamaño de malla suficientemente grande para permitir la circulación del aire caliente y suficientemente pequeño para evitar las posibles pérdidas de material, así también se sujeto por medio de abrazaderas galvanizadas. Este mecanismo permitió darle vuelta manualmente a la briqueta cada 2.5 horas, para invertir su posición sin presionarla directamente, evitando por tanto el sentido del escurrimiento que se pudiera haber producido.



Fotografía 4.20 Mecanismo de sujeción y confinamiento para realizar el ensayo de envejecimiento.

Esta operación manual de cada 2,5 horas hizo necesario el fraccionamiento del período de envejecimiento en función de las horas de trabajo: las briquetas se mantenían en horno durante periodos de 10 horas cada día (Ver Fotografía 4.21), asegurando que previamente se hubiera alcanzado la temperatura de 163°C.



Fotografía 4.21 Briquetas en horno de aire forzado para prueba de envejecimiento.

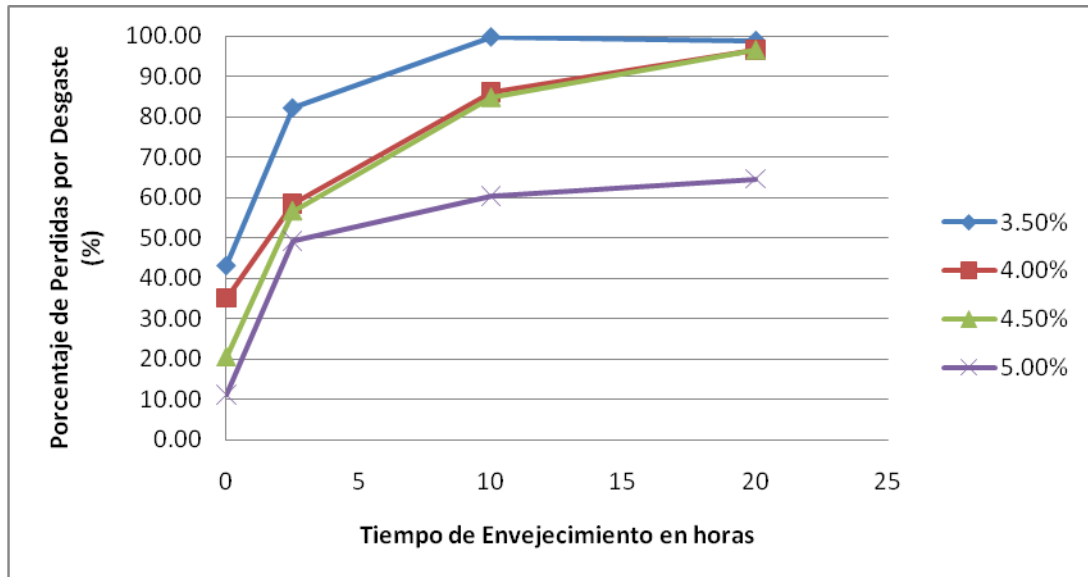
Finalizado el periodo de envejecimiento, las briquetas se dejaban enfriar por 14 horas. Se extraían los dispositivos de sujeción y confinamiento, y se ensayaban a 25 ± 1 °C, a 100, 200 y 300 revoluciones.

La tabla 4.17 recoge los valores promedios obtenidos de cada juego de 3 briquetas, según el procedimiento desarrollado, de las pérdidas por desgaste a distintos tiempos de envejecimiento para cada uno de los porcentajes de ligante asfáltico ensayados.

Nº Revoluciones	Tiempo en horas	Porcentaje de Ligante			
		3.50%	4.00%	4.50%	5.00%
100	0	9.451	7.424	5.599	1.769
	2.5	35.910	16.546	15.905	4.815
	10	59.754	23.918	32.581	17.509
	20	56.696	52.585	66.480	15.816
200	0	24.256	21.925	14.376	6.749
	2.5	65.179	42.899	37.868	28.342
	10	88.760	58.623	72.959	44.518
	20	86.559	91.487	75.606	41.289
300	0	43.123	35.125	20.499	11.085
	2.5	82.109	58.503	56.678	49.330
	10	99.668	86.136	84.794	60.386
	20	98.791	96.639	96.525	64.639

Tabla 4.17 Pérdidas al cántabro a distintos tiempos de envejecimiento y diferentes grados de severidad del ensayo (100,200 y 300 revoluciones).

Con los datos de la tabla 4.17, se trazan las curvas de envejecimiento para cada porcentaje de ligante, variando en la grafica la pérdida de desgaste al ensayo cántabro vrs el tiempo de envejecimiento en horas. Véase la Gráfica 4.9, que muestra los datos a una severidad de 300 revoluciones.



Grafica 4.9 Efecto del tiempo de envejecimiento sobre las pérdidas por desgaste a 300 revoluciones.

Los puntos de ligante de 4.0% y 4.5% presentaron casi el mismo comportamiento al envejecimiento, en cambio el de 3.5% presentó mayores pérdidas y alcanzó casi el 100% de pérdidas a las 10 hora, diferente el de 5.0% el cual mantuvo sus pérdidas máximas hasta los 64.64% a las 20 horas.

4.7.3 ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD

La permeabilidad de los diferentes porcentajes de ligantes fueron determinados utilizando un permeámetro artesanal basado en la norma española NLT 327 “Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS”.

Este permeámetro artesanal, presentado en la fotografía 4.22, se construyó con base a los requisitos que presenta la norma mencionada, tal como se ilustra en la figura 4.6



Fotografía 4.22 Permeámetro LCS hecho a mano.

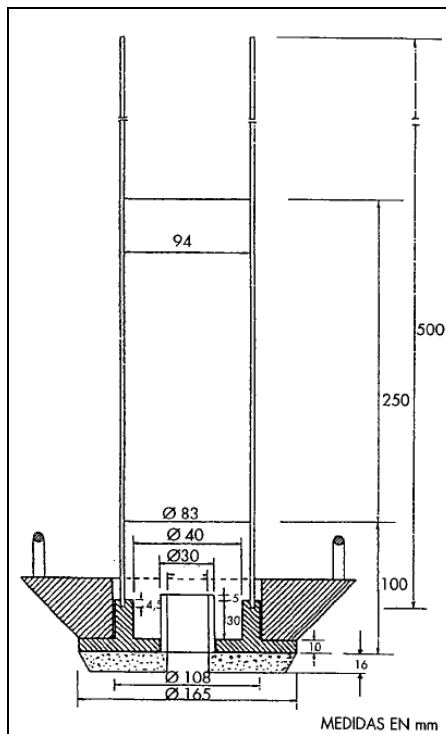


Figura 4.6 Permeámetro LCS.⁵⁷

⁵⁷ NLT 327 Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS

Para este ensayo, se fabricaron 2 briquetas de cada porcentaje de ligante, el permeámetro fue colocado sobre la cara de una briqueta, luego el tubo fue llenado con agua hasta una altura de 15 cms por encima de la marca superior, y se vació para mojar y saturar la briqueta.

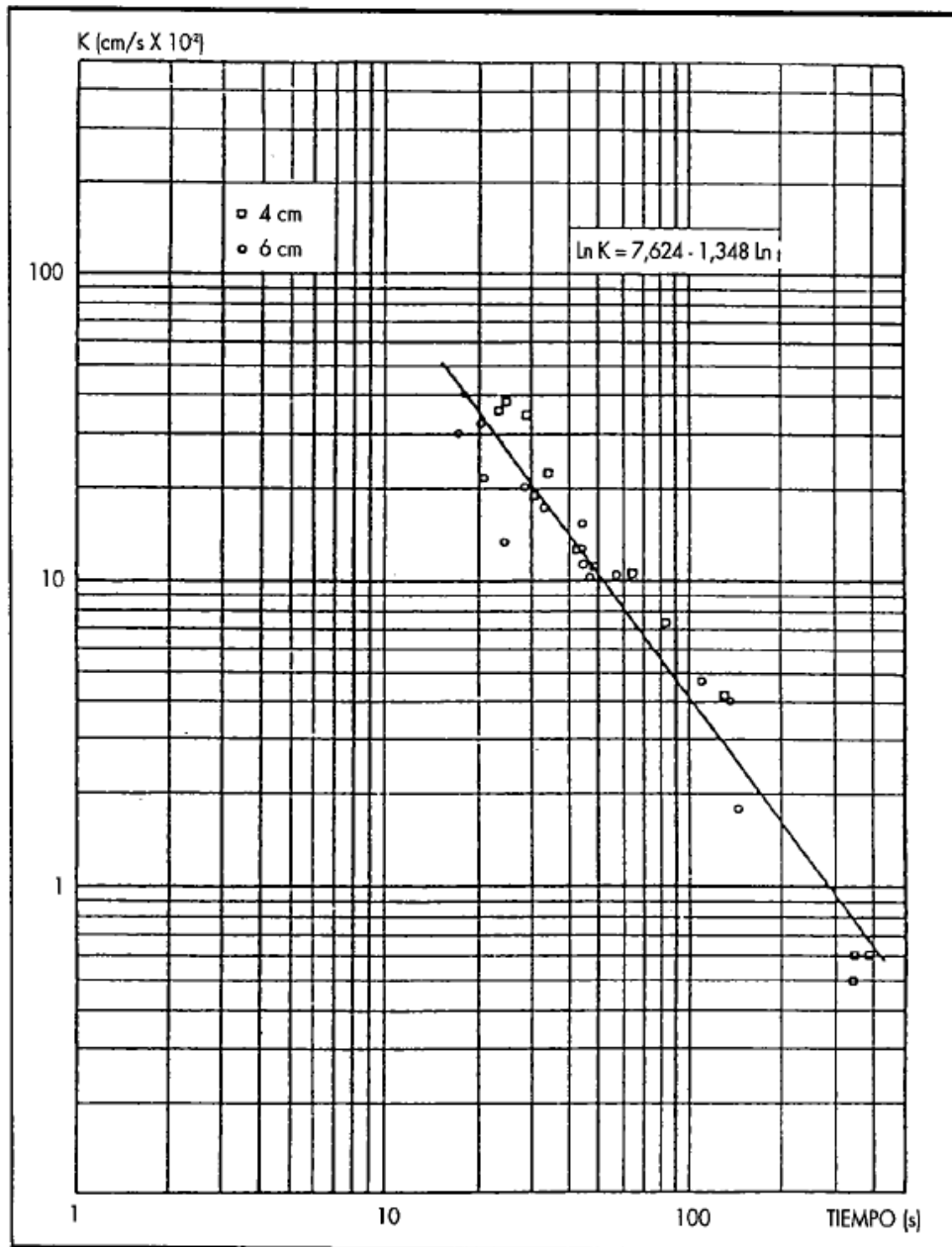
Seguidamente se vuelve a llenar de la misma forma el permeámetro y se anota el tiempo de evacuación en segundos, que tarda el nivel del agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.

Este proceso se realizó dos veces para cada cara, superior e inferior, de cada briqueta. Los resultados son presentados en la tabla 4.18:

Ligante	Briqueta	Tiempo de Evacuación					
		Cara Superior		promedio	Cara Inferior		Promedio
3.50%	1A	33.7	32.9	25.28	17.2	18.7	14.43
	2A	17.0	17.5		10.9	10.9	
4.00%	1B	26.8	31.3	30.43	18.6	18.2	18.38
	2B	30.6	33.0		19.3	17.4	
4.50%	1C	30.3	30.2	25.53	13.8	14.6	17.85
	2C	20.6	21.0		20.5	22.5	
5.00%	1D	22.9	22.7	18.05	15.5	15.6	13.80
	2D	13.7	12.9		11.7	12.4	

Tabla 4.18 Tiempos en segundos de evacuación del agua de cada porcentaje de ligante.

La norma NLT 327, establece una gráfica de correlación entre el coeficiente de permeabilidad y el tiempo de evacuación en el permeámetro LSC, (Gráfica 4.10).



Gráfica 4.10 Correlación coeficiente de permeabilidad - tiempo de evacuación.⁵⁸

Siendo “K” el valor de permeabilidad, en $\text{cms/seg.}10^{-2}$ y “T” el tiempo de evacuación del agua, en segundos.

⁵⁸ NLT 327 Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS

Se tomaron los tiempos promedios de la tabla 4.18 para determinar el coeficiente de permeabilidad de cada uno de los diferentes porcentajes de ligante y están en la tabla 4.19:

Ligante	Cara Superior	Coeficiente de Permeabilidad	Cara Inferior	Coeficiente de Permeabilidad
3.50%	25.28	26.32	14.43	56.05
4.00%	30.43	20.50	18.38	40.45
4.50%	25.53	25.97	17.85	42.06
5.00%	18.05	41.43	13.80	59.50

Tabla 4.19 Coeficientes de Permeabilidad de cada porcentaje de ligante.

Los coeficientes de permeabilidad, según el MOPU de España, para mezclas con porcentajes de vacíos mayores al 18%, deben ser mayores a los 5×10^{-2} cm/seg, y el porcentaje de ligante de 4.5% presentó coeficientes de 25.97 y 42.06 en las dos caras, superior e inferior respectivamente, por lo que ha este porcentaje de ligante, la mezcla cumple satisfactoriamente este parámetro.

CAPITULO V:

FABRICACIÓN, COLOCACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES DRENANTES.

5.1 REQUERIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.

5.1.1 CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN

Las normas españolas exigen que las mezclas drenantes se diseñen a partir de briquetas cilíndricas tipo Marshall, confeccionadas como se describe en la norma de ensayo NLT 352. Las temperaturas de mezcla y compactación dependerán de las características del ligante bituminoso que se emplee y se definirán en cada caso particular durante la etapa de diseño. La temperatura de elaboración de la mezcla deberá ser tal, que se obtenga una adecuada envuelta del agregado, sin que se produzcan escurrimientos del ligante.

El contenido óptimo de material bituminoso en la mezcla se deberá elegir de manera que se cumplan los siguientes criterios colombianos:

- Las briquetas serán moldeadas según la metodología Marshall ASTM D 1559 AASHTO T 225, y el número de golpes por cara deberá ser de cincuenta (50).
- Los vacíos con aire de la mezcla compactada, medidos como se indica en la norma de ensayo ASTM D 3203, no deberán ser inferiores a veinte por ciento (20%), ni mayores de veinticinco por ciento (25 %).
- Para verificar que los vacíos con aire están debidamente interconectados, se realizará una prueba de permeabilidad según la norma de ensayo NLT 327. La permeabilidad de la mezcla deberá ser mayor de 5×10^{-2} cms/seg.
- Las pérdidas por desgaste a veinticinco grados Celsius (25°C), determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma NLT 352, no deberán ser superiores a veinte por ciento (20 %).
- La dosificación del material bituminoso no podrá ser inferior a cuatro por ciento (4.0%) o superior a seis por ciento (6.0%), respecto del peso seco de los agregados, incluido el llenante mineral.

- Se deberá comprobar, además, la adhesividad entre el agregado y el ligante, caracterizando la mezcla en presencia de agua. Al efecto, la pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro, según la norma de ensayo NLT 362, tras ser sometidas las briquetas a un proceso de inmersión en agua durante veinticuatro horas (24 h) a sesenta grados Celsius (60°C), no podrá exceder de cuarenta por ciento (40 %). Si se supera este valor, se deberá mejorar la adhesividad mediante un aditivo de polímeros SBS.

Los criterios de dosificación se resumen en la tabla 5.1:

Característica	Exigencia	Ensayo	Método
Numero de golpes	50	Marshall	ASTM D 1559
Porcentaje de vacios en Mezcla	20 mín. – 25 máx.	Porcentaje de vacios	ASTM D 3203
Permeabilidad x10 ⁻² cms/seg	5 Mínimo	Permeabilidad	NLT 327
Porcentaje de Perdida por desgaste en seco	20 Máximo	Cántabro Seco	NLT 352
Porcentaje de Perdida por desgaste tras inmersión	40 Máximo	Cántabro Húmedo	NLT 362
Contenido de ligante	4 Mín. – 6 Máx.	-	-

Tabla 5.19. Requisitos de dosificación para mezclas drenantes⁵⁹.

5.1.2 ANALISIS DE COSTOS DE FABRICACION DE MEZCLAS SEMICALIENTES DRENANTES.

Se realizo una comparación del costo que llevaría fabricar un metro cubico de mezcla semicaliente drenante en planta con la misma cantidad de volumen pero de mezcla asfáltica en caliente densa. Los costos han sido calculados y presentados en las tablas 5.2 y 5.3 a continuación:

⁵⁹ Especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos drenantes para carpetas de rodamiento. Comisión permanente del asfalto 2005.

Mezcla Asfáltica Densa en Caliente						
	Peso específico*	% del Peso Total	Para 1m³ de pétreos	Precio Unitario	Unidad	Costo
Grava 3/4	2605	57.0%	1484.85	\$16.43	m ³	\$ 9.37
Arena triturada	2460	43.0%	1057.8	\$ 7.20	m ³	\$ 3.10
Total Pétreo		100%	2542.65			
AC 30	3.8611	5.6%	142.38	\$ 2.51	galón	\$ 92.56
			Peso Total Mezcla			
Temperatura de Calentamiento = 156°C						
Litros de Combustible/Ton = 7			2685.03	\$ 2.30	galón	\$ 43.23
*Los Pétreos en Kg/m ³ *Los Asfaltos en Kg/galón						
TOTAL =						\$ 148.25
TOTAL + IVA =						\$ 167.53

Tabla 5.2 Costo por metro cubico de fabricación de una mezcla asfáltica densa en caliente.

Mezcla Asfáltica Semicaliente Drenante						
	Peso específico*	% del Peso Total	Para 1m³ de pétreos	Precio Unitario	Unidad	Costo
Grava 3/4	2605	50.0%	1302.5	\$16.43	m ³	\$ 8.22
Grava 1/2	2779	28.0%	778.12	\$16.43	m ³	\$ 4.60
Arena triturada	2460	22.0%	541.2	\$ 7.20	m ³	\$ 1.58
Total Pétreo		100%	2621.82			
AC30 Modificado	3.8611	4.5%	117.98	\$ 5.78	galón	\$ 176.62
			Peso Total Mezcla			
Temperatura de Calentamiento = 135°C						
Litros de Combustible/Ton = 6			2739.80	\$ 2.30	galón	\$ 37.81
*Los Pétreos en Kg/m ³ *Los Asfaltos en Kg/galón						
TOTAL =						\$ 228.83
TOTAL + IVA =						\$ 258.57

Tabla 5.3 Costo por metro cubico de fabricación de una mezcla asfáltica semicaliente drenante.

5.1.3 CATÁLOGO DE SECCIONES DE PAVIMENTOS CON CARPETAS DE RODADURA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES⁶⁰.

La figura 5.1 recoge las secciones de pavimentos según la categoría de tráfico pesado en las que se utilizan las mezclas drenantes para la carpeta de rodadura. Todos los espesores de capa señalados se considerarán mínimos en cualquier punto de la sección transversal del carril de proyecto.

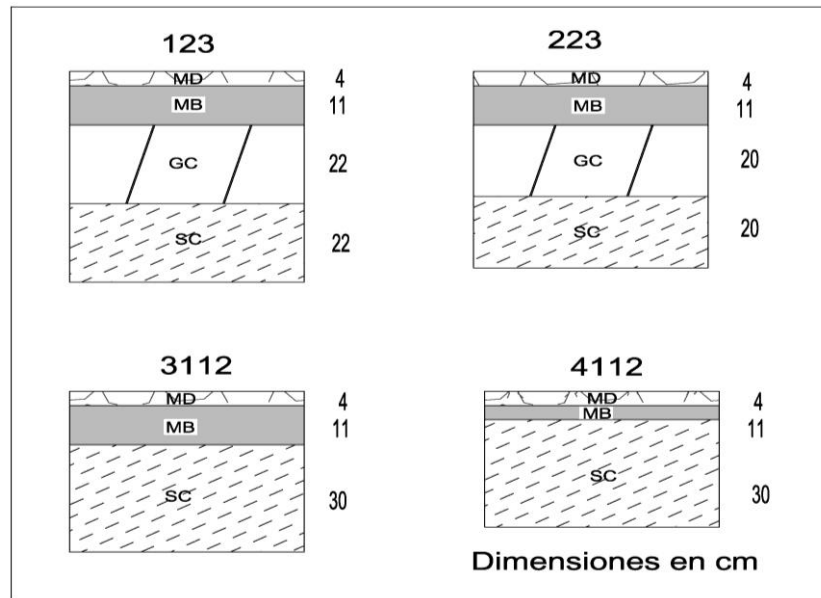


Figura 5.1 Secciones de pavimentos con carpeta de rodadura drenante. MD = Mezcla Drenante MB = Mezcla Bituminosa GC = Grava Cemento (Base Granular) SC = Suelo Cemento.⁶¹

Se debe tomar siempre en cuenta, que entre las capas bituminosas (la drenante y la densa) se debe disponer siempre de una capa impermeabilizante constituida por una emulsión modificada con polímeros, o una geomalla que no permita el paso del agua hacia las capas subyacentes a la drenante.

⁶⁰ ³ Norma 6.1 IC Secciones de Firme, De la Instrucción de Carreteras MINISTRO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO, España, 2003.

Los Tipos de Tráficos previamente utilizados para categorizar las secciones son clasificados en la tabla 5.4.:

Tráfico	IMDp (Vehículos Pesados /día)		Ejes Equivalentes (TE)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
T1	2000	800	12500,155	5000,062
T2	800	200	4869,626	1217,406
T3	200	50	1217,406	304,352
T4	50	0	271,743	0

Tabla 5.4 Categorías de Tráfico Pesado en IMDp y su equivalencia en TE.

5.1.4 SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO CON DETALLES DE CORTES Y RELLENOS.

El dimensionamiento de las secciones transversales de pavimentos con carpetas de rodadura de mezcla asfáltica drenante, debe basarse fundamentalmente en la capacidad estructural relacionado con las intensidades de tráfico pesado y los materiales utilizados para la base y la sub base. Estas especificaciones son propias para cada tipo de proyecto.

En la figura 5.2 se muestra la sección transversal tipo para esta clase de pavimento, en donde los espesores de cada capa son variables, ya que estos dependen del tipo de material y de la ubicación del proyecto.

En las figuras 5.3 y 5.4 se presentan en detalle la solución para desalojar el agua infiltrada en la capa drenante cuando el proyecto requiere una sección en corte o una sección en relleno. El recurso utilizado en una sección en corte es una canaleta colocada desde el punto final de la carpeta impermeable, mientras que en una sección en relleno, se utiliza el mismo riego de liga utilizado en la capa intermedia para estabilizar el talud de terraplén y garantizar de esta manera la impermeabilidad de las capas subyacentes a la carpeta de rodadura. En ambos casos la carpeta de rodadura drenante será provista hasta la calzada.

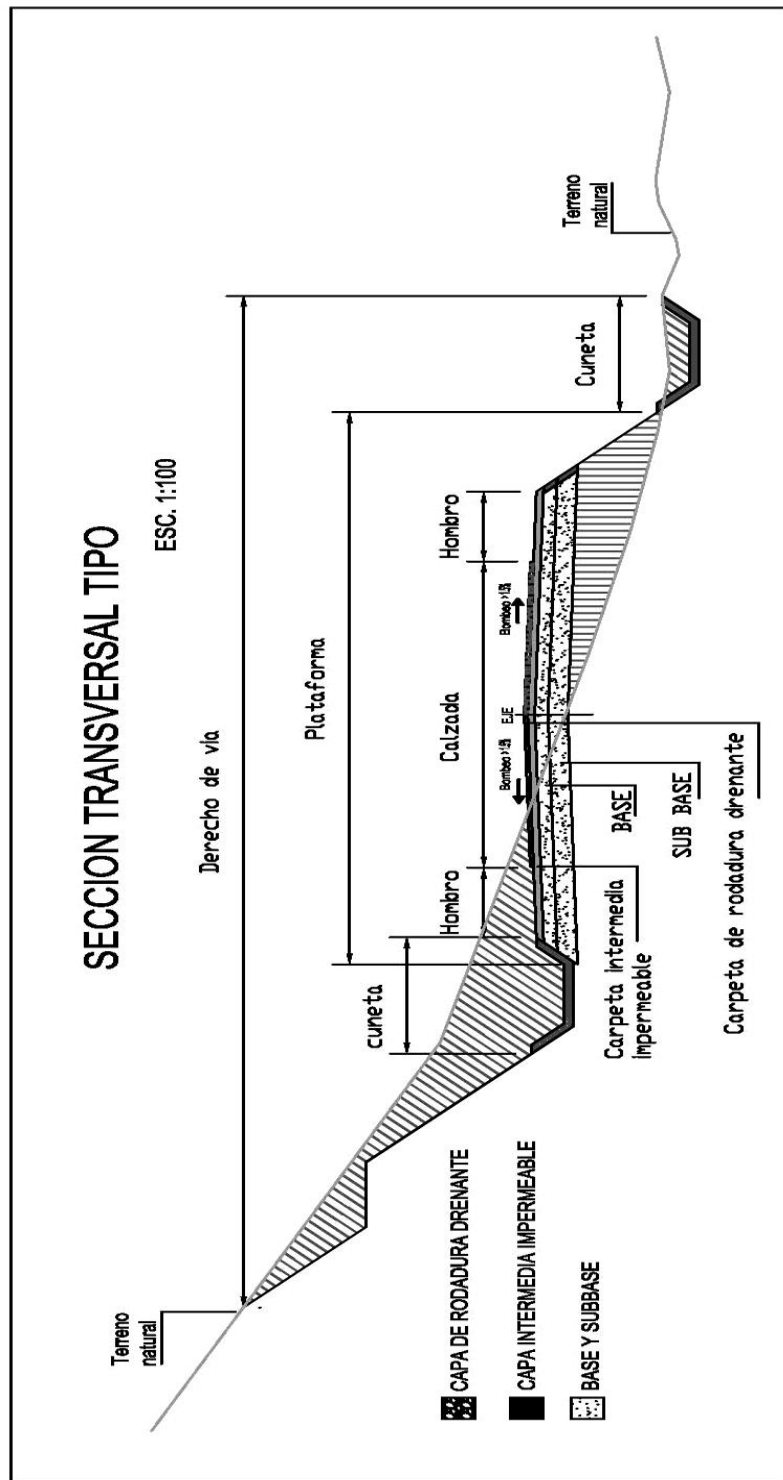


Figura 5.2 Sección Transversal Tipo de un Pavimento Provisto con Capa de Rodadura de Mezcla Asfáltica Drenante

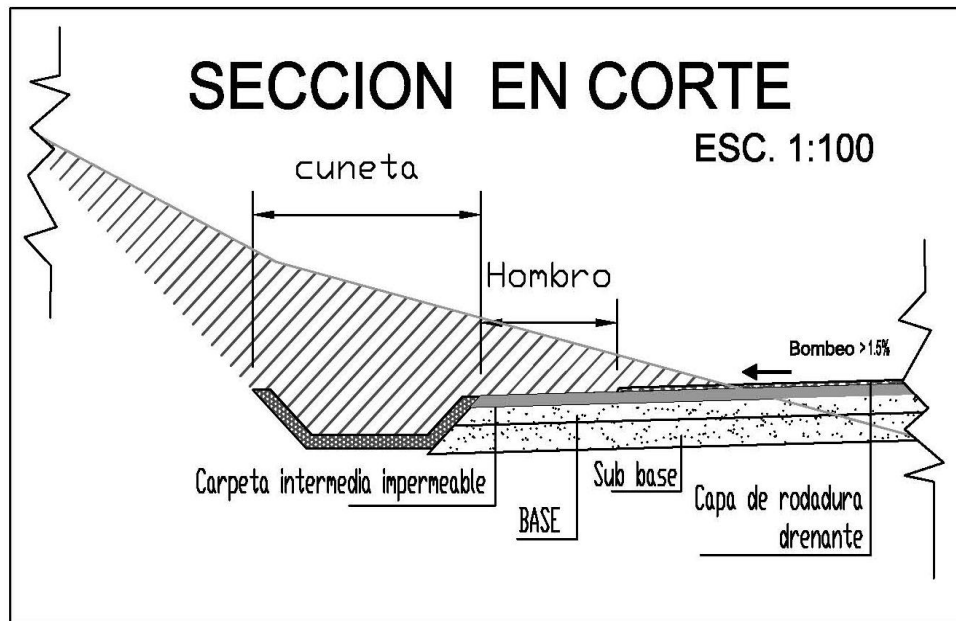


Figura 5.3 Sección Transversal en Corte de un Pavimento con Capa de Rodadura Drenante.

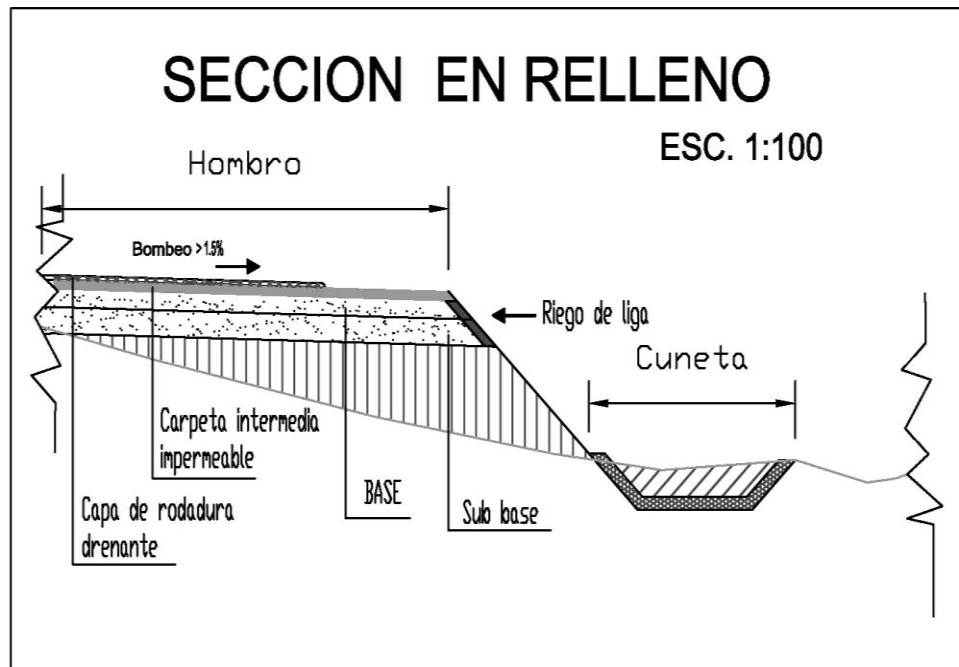


Figura 5.4. Sección Transversal en Relleno de un Pavimento con Capa de Rodadura Drenante.

5.1.5 ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE APORTE ESTRUCTURAL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE.

Se realizó un análisis del coeficiente estructural que puede presentar la mezcla drenante. Para esto se fabricaron 2 briquetas por cada porcentaje de contenido de asfalto, con las mismas especificaciones que exige el método Marshall en la NLT 159 o su equivalente la ASTM 1559. A estas se les realizó el ensayo de resistencia a la deformación utilizando la prensa Marshall.

El ensayo detalla que las briquetas deben calentarse en baño de maría unos 50 (± 10) minutos a una temperatura de 60°C. Una vez cumplido el tiempo de calentamiento en el baño, se saca una biqueta y se sitúa centrada sobre la mordaza colocada en el plato inferior de la prensa se monta la mordaza superior, juntamente con el dispositivo de deformación, puesto a cero, así también se coloca el deformímetro para la lectura del flujo (Ver fotografía 5.1). Se aplica la carga a la biqueta a una velocidad de 50 (± 2) mm/min hasta que se produce la rotura.



Fotografía 5.1 Biqueta tipo Marshall sometida a deformación.

En el momento de la rotura, se lee la estabilidad máxima que alcanzó la biqueta, y se retira, a la vez, el deformímetro. Las lecturas tomadas se

muestran en la Tabla 5.5. Las lecturas de deformación del anillo de la prensa Marshall son convertidas, por medio de una ecuación de ajuste propia de la prensa Marshall utilizada, para calcular la fuerza ejercida sobre la briqueta.

Esta ecuación es:

$$Fr = A + B(Lc) + C(Lc^2)$$

Donde:

Fr: es la Fuerza de la ecuación de mejor ajuste que se aplica al equipo bajo prueba, en lbs.

Lc: es la lectura observada en el indicador bajo una fuerza aplicada.

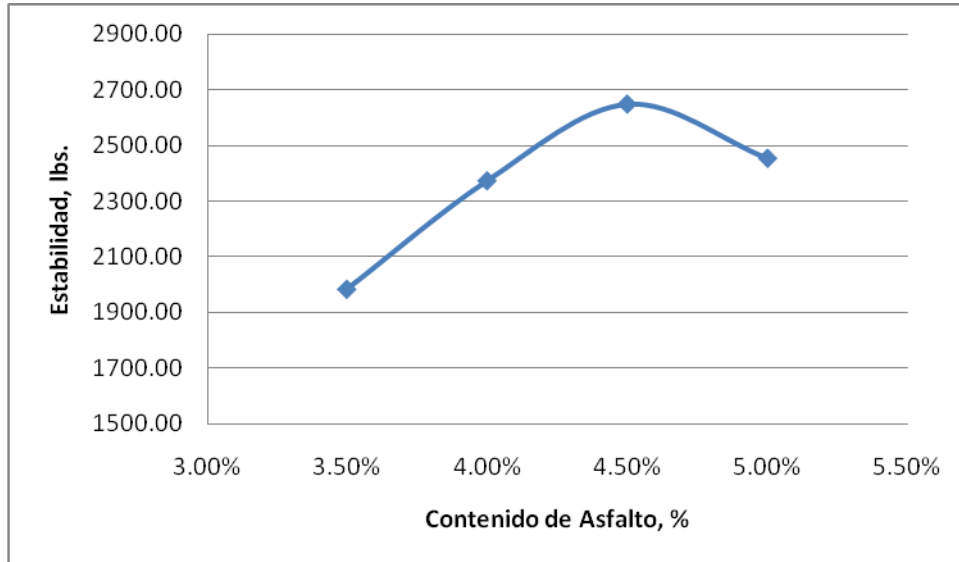
A, B, y C: son constantes de ajuste propias de la prensa Marshall.

$$A = -84.70570 \quad B = 33.05043 \quad C = -0.00360$$

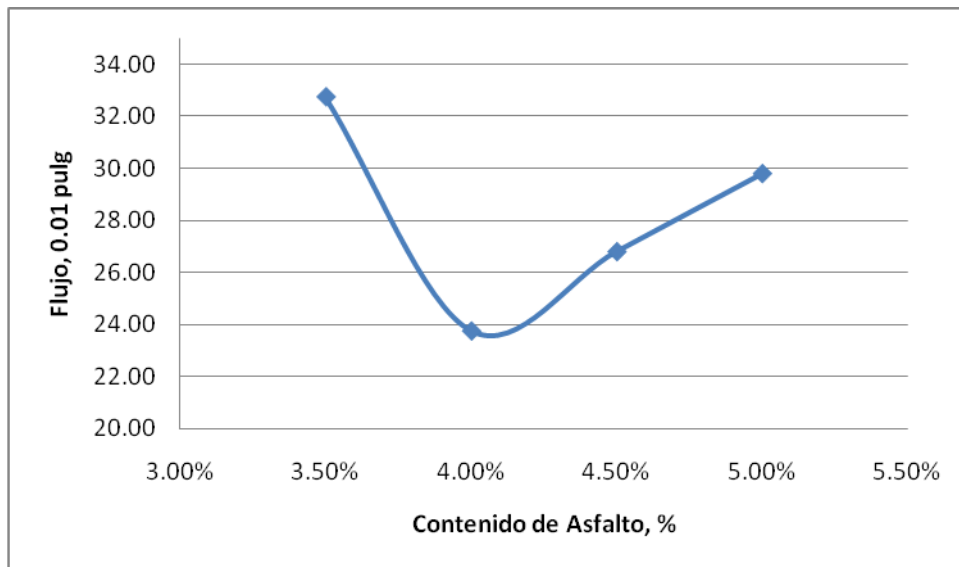
Porcentaje	Briqueta	Lc	Estabilidad	Prom. Est.	Flujo	Prom. Flujo
3.5%	1A	63	1983.18	1983.18	33.5	32.75
	2A	63	1983.18		32	
4.0%	1B	76	2406.33	2373.82	25	23.75
	2B	74	2341.31		22.5	
4.5%	1C	82	2601.22	2649.90	23.6	26.80
	2C	85	2698.57		30	
5.0%	1D	79	2503.81	2455.07	29	29.80
	2D	76	2406.33		30.6	

Tabla 5.5 Lecturas tomadas del ensayo Marshall, estabilidad en lbs., flujo en 0.01pulg.

El grafico 5.1 y 5.2 muestra como se comporta la estabilidad y el flujo, respectivamente, al aumentar el porcentaje de asfalto, se observa que el contenido de 4.5% presenta mayor estabilidad, de 2649.9 lbs.



Grafica 5.1 Estabilidad Marshall vrs contenido de asfalto.



Grafica 5.2 Flujo Marshall vrs contenido de asfalto.

Para obtener el coeficiente estructural de la mezcla, se utiliza el nomograma de la figura 5.5, que establece una correlación entre la estabilidad Marshall y el coeficiente estructural.

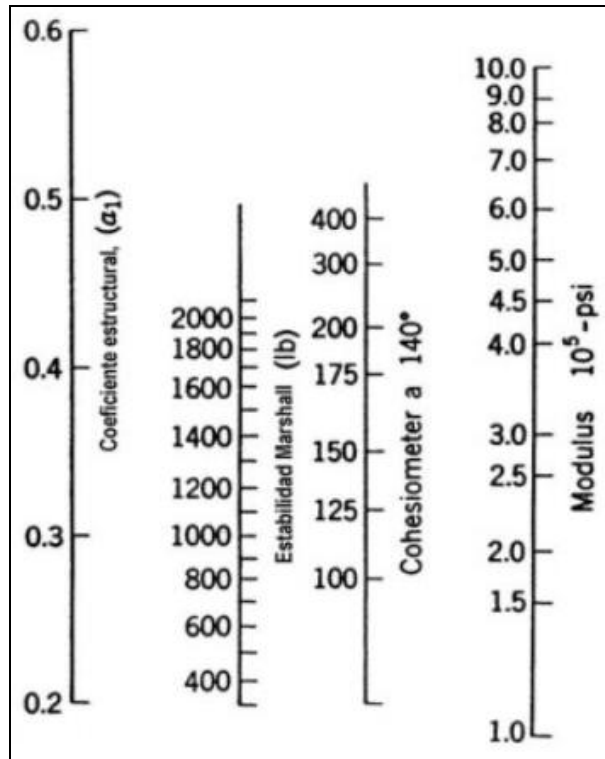


Figura 5.5 Nomograma para estimar el coeficiente estructural a partir de la estabilidad marshall.⁶²

Para la estabilidad de 4.5%, el coeficiente estructural es de aproximadamente 0.44, y al poseer una estabilidad de 2649.9 lbs, esta mezcla puede ser utilizada para tráficos muy pesados, según los criterios de diseño Marshall presentados en la tabla 5.6.

Al poseer una alta estabilidad y un coeficiente estructural de 0.44, la mezcla drenante puede reemplazar como carpeta de rodadura, a mezclas densas con igual o menor coeficiente, manteniendo siempre el aporte estructural de la carpeta de mezcla asfáltica.

En tráficos pesados en adelante, donde la estabilidad de las mezclas debe ser mayor de 18000, 1 cm de mezcla drenante, equivale a 1 cm de mezcla densa. En cambio será diferente en estructuras para tráficos menores, al proporcionar

⁶² SECRETARIA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA, *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento*, Guatemala, 2002

mayor coeficiente estructural que el necesario, por lo que podría equivaler hasta 2 cms de mezcla densa, pero esto dependerá del tipo de proyecto en que se este empleando.

Se establece utilizar un espesor para la carpeta de rodadura con mezcla drenante de 4 cms.

Criterios para mezclas del Método Marshall	Tipo de Tránsito							
	Liviano		Mediano		Pesado		Muy Pesado	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Compactación, número de golpes por cara	35		50		75		75	
Estabilidad (lb)	750	-	1200	-	1800	-	2200	-
Flujo (0.01 pulg)	8	18	8	16	8	14	8	14
Porcentaje de vacíos, %	3	5	3	5	3	5	3	5

Tabla 5.6 Criterios de diseño Marshall.⁶³

Si bien los parámetros de estabilidad cumplen con los criterios Marshall, los valores de flujo no. La mezcla drenante esta diseñada para poseer porcentajes de vacíos mayores de 20%, en cambio el método Marshall esta ideado para mezclas con porcentajes de entre 3% y 5%. Es por eso que existe una mayor deformación en las mezclas drenantes, dando cabida a juzgar la sensibilidad del ensayo Marshall al evaluar mezclas drenantes, y por consiguiente a dudar de la veracidad de los valores de aporte estructural de la mezcla.

5.2 EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.⁶⁴

5.2.1 PLANTA ASFÁLTICA.

Las mezclas asfálticas drenantes en caliente o semicaliente, deben fabricarse mediante plantas asfálticas continuas o discontinuas que dispongan de una

⁶³ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*, MOP-001-F-2002

⁶⁴ COMISIÓN PERMANENTE DE ASFALTO, *Especificaciones Técnicas Generales de Concretos Asfálticos Drenantes (CAD 12) para Carpetas de Rodamiento*. Argentina, 2005.

cantidad de silos de dosificación en frío al menos igual al número de fracciones de los áridos que componen la fórmula de obra adoptada.

El equipo para la elaboración de las mezclas debe reunir las características que aseguren la obtención de la calidad exigida y permita alcanzar una producción horaria mínima para cumplir con el plan de trabajo.

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del cemento asfáltico modificado con polímero debe poder permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo, de forma que se garantice que no se produzcan sobrecalentamientos localizados y que no se sobrepasen las temperaturas máximas admisibles de dicho producto.

La planta debe tener sistemas separados de almacenamiento y dosificación del polvo mineral recuperado y de aporte, los cuales deben ser independientes de los correspondientes al resto de los áridos y estar protegidos de la humedad.

5.2.2 ELEMENTOS DE TRANSPORTE.

Deben consistir en camiones de caja lisa, perfectamente limpia. La caja debe ser tratada con una lechada de agua y cal, una solución de agua jabonosa o emulsión siliconada antiadherente.

No se permite el rociado de la caja con solventes derivados del petróleo como por ejemplo diesel. La forma y altura de la caja debe ser tal que, durante el vertido en la terminadora, el camión sólo toque a ésta a través de los rodillos de empuje provistos al efecto.

Los camiones deben estar siempre provistos de una lona o cobertor adecuado que cubra lateral y frontalmente con un solape mínimo de 0.30 m. debidamente ajustado a la caja. Esta condición debe observarse con independencia de la temperatura ambiente; no se permite el empleo de coberturas que posibiliten la circulación del aire sobre la mezcla.

La cantidad de camiones disponibles deben ser suficientes para garantizar el transporte de la producción acordada.

5.2.3 EQUIPOS DE COMPACTACIÓN.

Se deben utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados de 8 a 12 toneladas de peso, tener inversores de sentido de marcha de acción suave, y estar dotados de dispositivos para la limpieza y humectación de las llantas durante la compactación. Las llantas metálicas de los compactadores no deben presentar surcos ni irregularidades.

Es conveniente trabajar con dos rodillos como mínimo, normalmente el número de pasadas es superior a cuatro, no se recomiendan compactadores de neumáticos. La apertura al tráfico debe realizarse recién cuando la mezcla este lo suficientemente fría para evitar que se adhiera a los neumáticos.

5.2.4 EQUIPO PARA RIEGO DE LIGA.

El equipo de distribución de riego de liga debe aplicar el mismo a presión, con uniformidad y sin formación de estrías y que garantice la dotación definida de acuerdo al apartado 5.3.2 de este documento.

5.3 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

5.3.1 PRESENTACIÓN DE LA FÓRMULA DE OBRA.

La fórmula debe cumplirse durante todo el proceso constructivo de la obra e incluir como mínimo las siguientes características:

- a) La identificación, características y proporción de cada fracción del árido, incluido el filler de aporte. Se debe determinar la densidad relativa, densidad aparente y absorción de agua de estos.
- b) La granulometría de los áridos combinados, incluido el filler de aporte.
- c) La identificación y dosificación del ligante asfáltico modificado y la del aditivo referida al peso del ligante.

- d) Las temperaturas máximas y mínima de calentamiento previo de los áridos y del ligante. (En ningún caso se introducirá en el mezclador árido a una temperatura superior a la del ligante en más de quince grados Celsius (15 °C)).
- e) La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador.
- f) La temperatura mínima de la mezcla al iniciar la compactación con los rodillos.

5.3.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE APOYO Y RIEGO DE LIGA.

La mezcla drenante deberá ser puesta en obra sobre una superficie impermeable libre de fisuras y con una geometría que asegure la evacuación de agua hacia los bordes.

Se aplicará como riego de liga, una emulsión modificada con polímero, de modo de conseguir una mayor impermeabilización de la capa subyacente y una adecuada adherencia entre esa superficie y la capa que la cubrirá.

Este riego de liga se proporcionara de acuerdo a los rangos de dotaciones indicadas en la tabla 5.7.

SUPERFICIE PORTANTE	DOSIS MÍNIMA
Mezcla bituminosa recientemente extendida	0.30 – 0.40 kg/m ²
Mezcla bituminosa antigua en buenas condiciones	0.35 – 0.50 kg/m ²
Mezcla bituminosa envejecida con presencia de microfisuración	0.50 – 0.60 kg/m ²
Mezcla bituminosa fisurada (previo sellado de grietas)	0.60 – 0.80 kg/m ²

Tabla 5.7 Dosis Mínima de Ligante Residual en Riego de Adherencia⁶⁵.

⁶⁵ Especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos drenantes para carpetas de rodamiento. Comisión permanente del asfalto 2005.

5.3.3 FABRICACIÓN DE LA MEZCLA.

La carga de cada una de las tolvas de áridos en frío se debe realizar de forma que su contenido esté siempre comprendido entre el 50 a 100% de su capacidad. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Un aspecto muy importante es la temperatura de fabricación. La reducida cantidad de agregados finos, provoca que la temperatura indicada en la cabina de la planta, sea inferior a la real, situación que puede llevar a que se sobrecalienten los agregados. En general, conviene reducir lo más posible la diferencia entre la temperatura del betún y la de los agregados.

El riesgo de escurrimiento de ligante en las mezclas drenantes, es superior al que se podría registrar en una mezcla convencional. La temperatura recomendable para el bitumen en el caso de mezclas abiertas, se ubica en el entorno de la viscosidad de 500 cSt (centiStokes).

5.3.4 TRANSPORTE DE LA MEZCLA.

La mezcla asfáltica se debe transportar en camiones desde la planta asfáltica a la terminadora, según lo indicado en 5.2.2 de este documento.

5.3.5 EXTENSIÓN DE LA MEZCLA.

La terminadora se debe regular de forma que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin segregaciones térmicas o de materiales, ni arrastres, y con un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los Planos del Proyecto.

La extensión se debe realizar con la mayor continuidad posible, sincronizando la producción de la mezcla asfáltica y su transporte de modo que la terminadora no se detenga. En caso de detención, se debe comprobar que la temperatura

de la mezcla que quede sin extender en la tolva de la terminadora y debajo de ésta, no baje de la prescrita en la fórmula de obra para el inicio de la compactación; de lo contrario, se debe ejecutar una junta transversal y desechar la mezcla defectuosa.

5.3.6 COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA.

Se debe hacer a la mayor temperatura posible, sin rebasar la máxima prescrita y sin que se produzca desplazamiento de la mezcla extendida.

La compactación se debe realizar en forma estática, longitudinalmente, de manera continua y sistemática. Si la extensión de la mezcla asfáltica se realizara por franjas, al compactar una de ellas se debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos 0,15 m de la anterior.

Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado más cercano a la terminadora. Los cambios de dirección se deben realizar sobre mezcla ya compactada, y los cambios de sentido se deben efectuar con suavidad. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y húmedos.

Para asegurar un número suficiente de pasadas (se recomienda un mínimo de cuatro), se recomienda disponer siempre de un rodillo de reserva.

No se deben emplear compactadores de neumáticos porque se adhieren con facilidad a la mezcla y provocan desprendimiento de material. Además, al tener un efecto de amasado superficial de la mezcla provocan una disminución de huecos en la parte superior.

Por el hecho de que la temperatura de la mezcla baja rápidamente una vez colocada, se debe evitar los retoques y reparaciones localizadas.

5.3.7 JUNTAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES.

Cuando con anterioridad a la extensión de la carpeta asfáltica drenante se ejecuten otras capas asfálticas, se debe procurar que las juntas transversales de capas superpuestas guarden una separación mínima de 1,5 m y de 0,15 m para las longitudinales.

Las juntas longitudinales de cada franja de extendido no deben cortarse ni regarse con ligante bituminoso de liga para que no se produzcan barreras a la salida del agua, lo que provocaría afloramientos en dichas zonas.

Las juntas transversales se deben compactar transversalmente, disponiendo los apoyos adecuados fuera de la capa para el desplazamiento del rodillo. Además las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes se deben distanciar en más de 5 m.

Los tramos cóncavos del perfil longitudinal deberán estudiarse para evitar el afloramiento del agua en los puntos bajos, conviene aumentar el espesor de la mezcla en el valle y disponer de sistemas de drenaje para asegurar la evacuación del agua.

5.3.8 LIMPIEZA.

El contratista debe prestar especial atención en no afectar durante la realización de las obras la calzada existente o recién construida.

Para tal efecto, todo vehículo que se retire del sector de obra debe ser sometido a una limpieza exhaustiva de los neumáticos, de manera tal que no marque ni ensucie tanto la calzada como la demarcación.

En caso de detectarse sectores de calzada manchados y/o sucios con material de obra, dentro del área de obra o fuera de ella, debe de limpiarse para restituir el estado inicial de la carpeta.

5.4 ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA.

5.4.1 PORCENTAJE DE VACÍOS.

En las mezclas drenantes, la densidad alcanzada en la obra debe ser tal que el porcentaje de vacíos de la capa terminada no difiera en más de tres ($\pm 3\%$) puntos porcentuales del obtenido en la fórmula de obra. A los fines del cálculo de los vacíos se debe tomar como Densidad Máxima Teórica (Rice), la obtenida en el día para el lote de mezcla colocada, y para el cálculo de la Densidad aparente (bulk) de la mezcla colocada la relación entre la dotación media del lote, (cociente entre la masa neta colocada y la superficie correspondiente), y su espesor medio.

5.4.2 ESPESOR.

El espesor del proyecto debe encuadrarse para cada tipo de mezcla dentro del rango definido, en espesores menores ó iguales a 40 mm y con agregado pétreo de tamaño máximo 12 mm.

5.5 CONTROL DE EJECUCIÓN.

5.5.1 PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.

Se debe tomar diariamente, muestra de la mezcla de áridos, y con ella se debe efectuar los siguientes ensayos:

a) Análisis Granulométrico del Árido Combinado

Las tolerancias admisibles, en más o en menos, respecto a la granulometría de la fórmula de trabajo, serán las indicadas en la tabla 5.9, siempre que se verifique la discontinuidad granulométrica (tabla 5.8) siguiente:

Tamices, mm	HUSO
12,5 (½")	70-100
9,5 (3/8")	50-75
4,75 (N° 4)	15-32
2,36 (N° 8)	9-20
0,60 (N° 30)	5-12
0,075 (N°200)	3-7

Tabla 5.8 Husos Granulométricos⁶⁶

Tamiz IRAM	12,5 mm (½")	9,5 mm (3/8")	4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)	600 µm (N° 30)	75 µm (N° 200)
Tolerancia	± 4 %		± 3 %			± 1 %

Tabla 5.9 Tolerancias Granulométricas de la Mezcla de Áridos⁶⁷

b) Se deben tomar un mínimo de dos (2) muestras de mezcla asfáltica a la descarga del mezclador, y con ellas efectuar ensayos acorde con el plan de calidad adoptado.

- Control del aspecto de la mezcla, y medición de su temperatura en cada elemento de transporte.
- Moldeo de 3 briquetas Marshall, para la verificación de los parámetros volumétricos y determinación de la pérdida por abrasión en seco en el ensayo Cántabro (NLT 352)
- Determinación del porcentaje de cemento asfáltico y granulometría de los áridos recuperados.

^{66 y 4} Especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos drenantes para carpetas de rodamiento. Comisión permanente del asfalto 2005.

- Moldeo de 3 briquetas Marshall, para el ensayo Cántabro tras inmersión en agua a una temperatura sesenta grados Celsius (60°C) durante veinticuatro horas (24 h). (NLT 362).

5.5.2 CONTROL DE LA UNIDAD TERMINADA.

Se considerará como lote de la mezcla colocada en el camino, a la fracción menor que resulte de los siguientes criterios:

- Una longitud de quinientos metros lineales de construcción (500 m)
- Una superficie de tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²)
- Lo ejecutado en una jornada de trabajo

Para cada lote se debe verificar:

- Permeabilidad (Conductividad Hidráulica Relativa)
- Espesor

5.5.3 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA RELATIVA (CHR).

La CHR debe ser medida sobre la mezcla colocada y enfriada a temperatura ambiente. Se debe medir en puntos situados en diagonal -cubriendo derecha, centro, izquierda- cada 50 metros de carril extendido y a 0,5 m del borde. Se debe indicar la media móvil de seis lugares de medición consecutivos y los valores individuales en segundos.

Además debe controlarse que las juntas longitudinales posean también un nivel de conductividad hidráulica acorde con lo especificado en otras zonas. Por jornada deben efectuarse como mínimo seis determinaciones

El tiempo de salida del agua debe estar entre 17 y 25 segundos medida con el permeámetro LCS (norma española NLT-327-88) corregida a 20 °C. Se debe

medir la temperatura del agua en el tubo del ensayo y efectuar las correcciones pertinentes al tiempo medido. En la tabla 5.10 se dan los coeficientes por los cuales debe dividirse la lectura en segundos cuando la temperatura del agua es distinta de 20 °C.

Temp. °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Coeficiente	1.79	1.73	1.67	1.62	1.57	1.52	1.47	1.43	1.39	1.34	1.31
Temp. °C	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Coeficiente	1.27	1.24	1.20	1.17	1.14	1.11	1.08	1.06	1.03	1.00	0.98
Temp. °C	22	23	24	25							
Coeficiente	0.96	0.94	0.91	0.89							

Tabla 5.10 Coeficientes de corrección⁶⁸.

Se debe asegurar una correcta conductividad hidráulica transversal observando la pendiente tanto de la calzada como de los hombros. Antes de efectuar mediciones con el permeámetro, se deberá regar previamente la zona en la que se van a efectuar las mediciones utilizando un camión regador.

5.6 MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS DRENANTES.⁶⁹

Sin mantenimiento, los pavimentos permeables pueden estar colmatados en tres años o pueden mantener su capacidad de infiltración más de 6. Todo depende del aporte de sedimentos que tenga la zona superficial contigua al tramo. Mientras, con un correcto mantenimiento, la vida útil de un pavimento permeable puede alcanzar los veinte años, tanto para superficies continuas, como discontinuas.

⁶⁸ Especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos drenantes para carpetas de rodamiento. Comisión permanente del asfalto 2005.

⁶⁹ COMISIÓN PERMANENTE DE ASFALTO, SUBCOMISIÓN REDACCIÓN DE ESPECIFICACIONES, *Especificaciones Técnicas Generales de Concretos Asfálticos Drenantes (CAD 12) para Carpetas de Rodamiento*. Argentina, 2005.

No obstante, el coste del mantenimiento puede llegar a ser elevado y la frecuencia necesaria de limpieza puede ser alta, dependiendo de las condiciones específicas de cada localización, por lo que en muchas aplicaciones se acepta la pérdida de permeabilidad y no se realiza mantenimiento alguno.

En general, el mantenimiento de un pavimento permeable debe programarse en función de los resultados de una serie de inspecciones periódicas, realizadas con el objetivo de comprobar los aportes de sedimentos recibidos por el pavimento permeable. Así, todos los pavimentos permeables deben ser inspeccionados varias veces durante los primeros meses después de su construcción y posteriormente, como mínimo una vez al año. Las inspecciones deben realizarse después de grandes lluvias para comprobar el correcto funcionamiento de la superficie.

Los diagnósticos realizados durante estas inspecciones deben realizarse en base a ensayos de capacidad de infiltración en campo, con el permeámetro LCS mostrado en la fotografía 5.2.



Fotografía 5.2 Permeámetro LCS⁷⁰.

⁷⁰ Laboratorio de Caminos de Santander.

Experiencias previas en España han mostrado gran dificultad existente en recuperar capas permeables muy colmatadas, siendo mucho más efectiva la limpieza periódica preventiva a la hora de mantener la funcionalidad del pavimento. Por esta razón, recomendaron realizar limpiezas antes de alcanzar niveles de colmatación altos, con posibilidad de recuperación. El momento adecuado para realizar la limpieza sería a inicios de la época lluviosa, dentro de los meses de abril y mayo, en El Salvador, y después de lluvias de alta precipitación que hayan podido ablandar depósitos de sedimentos, facilitando y mejorando la eficacia del mantenimiento.

Respecto a las medidas preventivas que minimicen los aportes de sedimentos, europeos analizaron la evolución a largo tiempo de dos experiencias con pavimentos permeables. De ambas experiencias extrajeron importantes conclusiones para el mantenimiento de pavimentos permeables:

- Las zonas verdes no deben drenar directamente sobre el pavimento permeable, minimizando así el principal aporte natural de sedimentos.
- Los pavimentos permeables deben ser cubiertos cuando existen obras cercanas, minimizando así el principal aporte artificial de sedimentos.

La colmatación con tierra vegetal es un riesgo cuya importancia depende del entorno del pavimento permeable y de las medidas preventivas adoptadas, siendo posible, en caso de producirse, la limpieza con agua a presión. Además, la escorrentía procedente de zonas en obra de construcción es la que más afecta la vida útil de los sistemas de infiltración. El control de la erosión debe ser más intenso en parques y zonas de obras cercanas a los pavimentos permeables. En carreteras la erosión puede ser un problema en tramos donde se ha realizado un corte de la superficie de la tierra.

Respecto a los mecanismos de limpieza, el más efectivo, empleado en mezclas asfálticas drenantes, consiste en las proyecciones de agua a presión y el

aspirado inmediato de la suciedad movilizada por el agua, resultando una limpieza limpia y seca. Este sistema, con pasadas cada seis meses, comenzando un año después de la puesta en obra de la mezcla porosa, es capaz de recuperar del 80% al 90% de la permeabilidad inicial.

Por último, ya sea al final de la vida útil o con anterioridad, puede ser necesaria una restitución de un pavimento permeable. En las mezclas asfálticas drenantes, los españoles señalan la posibilidad de utilizar mezclas en frío abiertas para el bacheo, tratando cuidadosamente los bordes para no crear discontinuidades en la infiltración.

CAPITULO VI:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. Las ventajas que presenta la mezcla semicaliente drenante como carpeta de rodadura, prevalecen a las desventajas, en la medida que proporciona mayor seguridad a los usuarios ante eventos lluviosos, eliminando principalmente el hidroplaneo, siendo un problema en las carreteras de los países tropicales como El Salvador.
2. Las normas ASTM no posee estándares de diseño de mezclas asfálticas con porcentajes de vacíos mayores al 12%, pero fueron utilizadas para la caracterización de pétreo y del ligante asfáltico. Las normas españolas NLT han sido la base internacional para los diferentes países que han regulado el uso y fabricación de estas mezclas, países tales como Chile, Colombia y Argentina.
3. Los requerimientos que los pétreos y el ligante debían cumplir, se tomaron de las normas colombianas, ya que estas exponen los parámetros más significativos de los materiales y, a la vez podían ser logrados en los laboratorios disponibles.
4. Al modificar el asfalto AC - 30 con polímeros SBS, se obtuvo un asfalto con que pudo cumplir los parámetros de penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica, siendo el último el más importante, con 43.3% de recuperación, ya que es un previo indicador de la cohesión de la mezcla.
5. Se utilizaron pétreos de La Cantera S.A. de C.V. ubicada en San Diego, La Libertad, los cuales cumplieron con todos los parámetros exigidos en las normas colombianas.

6. El tipo de granulometría a emplear en las mezclas drenantes desempeña un rol sumamente importante, y en base a ello se obtiene el porcentaje de vacíos necesario para permitir el paso del agua a través de la mezcla.
7. La granulometría diseñada, con las proporciones de 50% de grava 3/4", 28% de grava 1/2" y 22% de Arena Triturada, proporcionó mezclas con porcentajes de vacíos mayores del 22%, cumpliendo el rango de 20% a 25%.
8. El contenido de asfalto de 3.5% arrojó porcentajes de vacíos mayores del límite máximo de 25%. Esto es un comportamiento acertado, ya que el método Cántabro aconseja utilizar porcentajes de ligantes mayores de 4%, pero se utilizó el contenido de 3.5% en este estudio con fines de observar el comportamiento.
9. La carta de viscosidad del asfalto AC -30 modificado con SBS y SASOBIT®, presentó una reducción de Temperatura, aproximadamente de entre 9° a 11°C, para conseguir las mismas viscosidades de mezclado y compactado requeridas, en comparación con el asfalto AC-30 sin modificar.
10. El método Cántabro enuncia parámetros semejantes a los del método Marshall concebido para mezclas asfálticas densas (porcentajes de vacíos de 3% a 5%), para el cálculo del contenido promedio óptimo de la mezcla, como lo son el porcentaje de vacíos dentro del rango estipulado, y la densidad bulk máxima encontrada a partir de las gráficas.
11. En base a los parámetros que enuncia el método Cántabro, del porcentaje de vacíos entre 20% y 25%, densidad bulk máxima y porcentaje de pérdidas

al desgaste menor del 20%, el contenido optimo promedio de asfalto para la mezcla drenante diseñada fue de 4.5%.

12. El efecto de desmenuamiento del agua, separación del asfalto y los pétreos por la presencia de agua, genera un incremento en las pérdidas a comparación de las determinadas en seco.
13. La mezcla presentó pérdidas al cántabro menores del 20% para el contenido optimo de 4.5% de asfalto, entre temperatura de 65° y 70°C. Por lo tanto, la mezcla puede presentar un buen comportamiento en zonas donde la temperatura del pavimento no sobrepase los 67°C.
14. Al evaluar la susceptibilidad de la mezcla en el ensayo Cántabro, se puede tener un mejor indicativo del comportamiento que presentara la mezcla en campo al ser sometida a las temperaturas mas desfavorables que puedan afectarla.
15. La permeabilidad que presentó el contenido optimo de asfalto, de 4.5%, de 25.97 y 42.06 x 10⁻² cms/seg en la cara superior e inferior respectivamente, fue mayor que las recomendadas por el Ministerio de obras Publicas y Urbanismo de España en 1987, de 5.0 x 10⁻² cms/seg.
16. En El Salvador, se espera, en base a las estadísticas de precipitaciones realizadas por el SNET a lo largo de 1971 al 2001, que en cualquier zona del territorio, caiga una precipitación media anual mayor de 1100 mm, mayor a la mínima recomendada por el MOPU de España de 600mm, siendo así la mezcla drenante aplicable en todo el territorio en base a este criterio.

- 17.El análisis de costos unitarios que presento la mezcla drenante en comparación con una convencional, es mayor, pero se es compensado en la mayor seguridad que la mezcla drenante proporciona en épocas lluviosas.
- 18.El espesor de la carpeta de rodadura de mezcla asfáltica drenante será como mínimo de 4 cms de espesor.
- 19.El coeficiente estructural de aportación de la mezcla asfáltica con su porcentaje optimo de asfalto (4.5%), es de 0.44. Un valor semejante al que proporcionan los pavimentos asfálticos para tráficos pesados y muy pesados.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Investigar y proponer métodos aplicables a mezclas drenantes para la evaluación del coeficiente de aporte estructural en el pavimento.
2. Realizar un estudio económico a corto, mediano y largo plazo de la mezcla asfáltica semicaliente drenante, para compararlo con los costos de mantenimiento y reparación de una mezcla convencional.
3. Realizar un estudio de mezclas asfálticas semicalientes densas, utilizando diferentes porcentajes de SASOBIT®, para analizar la reducción de la temperatura en función de los costos de producción.
4. Se recomienda, cuando la mezcla este siendo diseñada para una zona específica, realizar una prueba de susceptibilidad térmica de por lo menos 3 temperaturas diferentes, que definan el rango de temperaturas máximas que pueda sufrir la capeta de rodadura en dicha zona, para corroborar cual será su comportamiento en campo ante las condiciones mas desfavorables.
5. Realizar una investigación y sondeo a un tramo con mezcla drenante en la carpeta de rodadura, para determinar la perdida de las propiedades drenantes a lo largo de la vida útil de esta.
6. En el proceso constructivo, no se debe emplear sello asfaltico a la carpeta drenante, ya que se estaría disminuyendo la capacidad de permeabilidad.

6.3 BIBLIOGRAFÍA

DOCUMENTOS Y ARTÍCULOS TÉCNICOS

O. REBOLLO; R. GONZÁLEZ Y G. BOTASSO. *Determinación del porcentaje de ligante óptimo, en Mezclas asfálticas abiertas*". LEMaC UTN La Plata, Argentina.

MORA, GERMAN Y PEREZ, GABRIEL. *Comparación de Mezclas Asfálticas Drenantes fabricadas con asfalto modificado y sin modificar*. Universidad Militar "Nueva Granada", Julio de 1998, Revista de la Facultad de Ingeniería.

MUÑOZ, GABRIELA Y RUIZ, CONSUELO. *Metodología de diseño y colocación de mezclas Drenantes*. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, 2000. Revista PERFORMANCE. *Mezclas asfálticas de temperatura reducida*. Asociación Mexicana de Asfalto, A.C. Edición 1, 2008.

SANTIAGO GIL REDONDO Y VARIOS, *Estudio de los Aditivos que permiten reducir la Viscosidad del Ligante a Elevadas Temperaturas*, España.

ALEJANDRO PADILLA RODRÍGUEZ, Universidad Politécnica De Catalunya, *Mezclas Asfálticas*, España.

ESCOBAR MORALES, MARÍA RENÉE Y ALVARENGA, EDWIN RICARDO, *Selección del tipo de cemento asfáltico para producir mezclas asfálticas en caliente en El Salvador*, Unidad de Investigación y Desarrollo Vial, Viceministerio De Obras Públicas, El Salvador, 2010.

INSTITUTO SALVADOREÑO DEL ASFALTO, *Seminario de nuevas tecnologías de mantenimiento vial*, Octubre 2009, El Salvador.

TRABAJOS DE GRADUACIÓN

JORGE RODRIGO MIRO RECASENS, *Metodología para la Caracterización de Ligantes Asfálticos mediante el empleo del ensayo cántabro (MÉTODO UCL)*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Barcelona España, 1994.

LLUÍS TORRENTÓ SERRA, *Disseny i Caracterització Mecànica de Mescles Bituminoses Semicalentes*, Univesitat Politècnica de Catalunya, España, 2009.

JORGE RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, Estudio, *Análisis y Diseño de secciones permeables de Firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráficos ligeros*, Universidad de Cantabria, España, 2008.

GABRIEL ADOLFO ROULLET MEJÍAS, *Seguimiento y Comparación de Caminos de Pavimento Asfáltico con Mezcla Drenante*, Universidad Austral de Chile, Chile, 2009.

A. ZÚÑIGA SUÁREZ, *Influencia de Partículas Deletéreas en Mezclas Asfálticas*, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, 2006.

PRESENTACIONES EN JORNADAS Y CONGRESOS

ELSAN S.A. (GRUPO OHL). *Iniciativas Ambientales de Asfaltos y Construcciones*. 2ª Jornada Anual del Foro pro clima Madrid. España, 2009.

NYNAS. *LT-Asphalt Cold & Semi-Warm Applications*. NYNAS, United Kingdom.

SHELL GLOBAL SOLUTION, *Mezclas drenantes y carpetas delgadas para capas de rodado: experiencia argentina 1996-2002*.

ESPECIFICACIONES Y NORMAS

COMISIÓN PERMANENTE DE ASFALTO, SUBCOMISIÓN REDACCIÓN DE ESPECIFICACIONES, *Especificaciones Técnicas Generales de Concretos Asfálticos Drenantes (CAD 12) para Carpetas de Rodamiento*. Argentina, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Artículo 453 Mezcla Drenante*, Colombia, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Artículo 400 disposiciones generales para la ejecución de riegos de Imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de Arena asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y En caliente y reciclado de pavimentos asfálticos*, Colombia, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Norma de Ensayo 736 Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas Compactadas densas y abiertas*, Colombia, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Norma de Ensayo 735 Gravedad específica máxima teórica (Gmm) y densidad de Mezclas asfálticas para pavimentos*, Colombia, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Norma de Ensayo 727 Recuperación Elástica por Torsión de Asfaltos Modificados*, Colombia, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Norma de Ensayo 712 Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos (Aparato de Anillo y Bola)*, Colombia, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Norma de Ensayo 706 Penetración de los Materiales Asfálticos*, Colombia, 2007.

DIRECCION DE VIALIDAD, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, *Manual De Carreteras, Volumen N° 5 Especificaciones Técnicas Generales De Construcción*, Chile, 2003.

DIRECCION DE VIALIDAD, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, *Manual De Carreteras, Volumen N° 8 Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control*, Chile, 2003.

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS. *NLT-149/91 Resistencia al Desgaste de los Áridos por medio de la Maquina de Los Ángeles*, Normas de laboratorio de Transporte, España, 2000.

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS. *NLT-159/00 Resistencia a la Deformación plástica de Mezclas Bituminosas empleando el aparato Marshall*, Normas de laboratorio de Transporte, España, 2000.

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS. *NLT-327/00 Permeabilidad in situ de Pavimentos Drenantes con el Permeámetro LCS*, Normas de laboratorio de Transporte, España, 2000.

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS. *NLT-352/00 Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste*, Normas de laboratorio de Transporte, España, 2000.

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS.
NLT-362/92 Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste.
Normas de laboratorio de Transporte, España, 1992.

MINISTRO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO, *Norma 6.1 IC Secciones de Firme, De la Instrucción de Carreteras*, España, 2003.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO, *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*, MOP-001-F-2002, España.

SECRETARIA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA,
Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, Guatemala, 2002.

ASTM D 2493 *Viscosiy-Temperature Chart for Asphalt*,2000

ASTM D5976 *Standard Specification for Type I Polymer Modified Asphalt Cement for Use in Pavement Construction*, 2000.

ASTM D5840 *Standard Specification for Type II Polymer Modified Asphalt Cement for Use in Pavement Construction*, 2000.

ASTM D5841 *Standard Specification for Type III Polymer Modified Asphalt Cement for Use in Pavement Construction*, 2000.

PAGINAS WEB

<http://atlas.snet.gob.sv/precipitaciones>

http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/PM_region.pdf

GLOSARIO

Absorción: La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

Agregado fino: Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y queda retenido en el tamiz de 75 μm (No. 200).

Agregado grueso: Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

Agregado: Es un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica, llamados también áridos o pétreos. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la escoria de alto horno, o la roca triturada y polvo de roca.

Ahuellamiento: es una forma de deterioro superficial asociado con las condiciones de carga y climáticas a las que está sometido el pavimento en servicio. Se desarrolla gradualmente y aparece como una depresión continua en las bandas de circulación de los neumáticos, dificultando la maniobrabilidad de los vehículos y ocasionando una disminución en la seguridad.

Asfaltos fluidificados: Ligantes hidrocarbonados resultantes de la incorporación a un ligante asfáltico de fracciones líquidas, más o menos volátiles, procedentes de la destilación del petróleo.

Bacheo: Arreglar los baches (hoyos) de la vía pública.

Base granular triturada: Es una parte del pavimento que se encuentra arriba de la sub-base y está constituida por áridos minerales cuya estabilización se consigue mediante medios mecánicos.

Bombeo: pendiente transversal que poseen las carreteras de 2%, cuya finalidad es evacuar las aguas lluvias hacia los lados

Briquetas: Las briquetas se preparan con diferentes contenidos de asfalto; estos contenidos tienen una variación de 0,5 %. Se deben preparar al menos tres briquetas para cada combinación de agregados con cemento asfáltico.

Caliza: La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca.

Calzada: Parte de la calle comprendida entre dos aceras, por donde circula el tráfico rodado.

Cántabro húmedo: Permite valorar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua en la mezcla y el efecto que produce el empleo de ligantes modificados en la mejora de esa propiedad.

Cántabro seco: Se aplica a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo es realizado a una temperatura de 25 °C, lo cual permite valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tránsito.

Capa base granular: Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la sub-base y la capa de rodadura.

Capa de rodadura: Es la construida en la parte superior del pavimento, debe resistir las presiones verticales de contacto aplicadas por los neumáticos, las tensiones tangenciales de frenado, las succiones debidas al comportamiento de los neumáticos, etc. La calidad de los materiales que constituyen la capa de

rodadura, deben estar en consonancia con la gran importancia de las solicitaciones a que se ve sometida.

Capa de sub base granular: Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base.

Carpeta: La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir.

Clima templado: Es aquel que tiene veranos que no son muy calurosos e inviernos que no son muy fríos.

Colmatación: Se denomina comúnmente colmatación a la acumulación de sedimentos.

Combustión: Es un proceso de oxidación rápida de una sustancia, acompañado de un aumento de calor y frecuentemente de luz. En el caso de los combustibles comunes, el proceso consiste en una combinación química con el oxígeno de la atmósfera que lleva a la formación de dióxido de carbono, monóxido de carbono y agua, junto con otros productos como dióxido de azufre, que proceden de los componentes menores del combustible.

Compacidad: Se refiere al grado de densidad es decir que tan compacto se encuentra algo.

Comportamiento elástico plástico: Transición entre el comportamiento frágil y el comportamiento plástico.

Comportamiento frágil: Fractura bajo niveles de esfuerzos principalmente elásticos con poca o ninguna ductibilidad.

Comportamiento plástico: Fractura frágil bajo fluencia general. Comúnmente acompañada por deformaciones grandes.

Concreto asfáltico: Consistirá en una combinación de agregados gruesos triturados, agregado fino y polvo mineral, uniformemente mezclados a diferentes temperaturas, con cemento asfáltico en una planta de mezclas asfálticas que reúna los requisitos de calidad y control para su producto.

Consolidación: Se denomina consolidación a un proceso de reducción de volumen de los finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo. Producen asientos, es decir, hundimientos verticales, en las construcciones que pueden llegar a romper si se producen con gran amplitud.

Cuarteo: Se realiza con el objeto de obtener de un amuestra, porciones representativas de tamaño adecuado para efectuar las pruebas de laboratorio que se requieran.

Daños en hombros: Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento por la acción del tránsito. Se hace particularmente manifiesto en pistas con hombros no pavimentados, en las que existe una significativa porción de vehículos que acceden del hombro al pavimento o en el sentido contrario.

Deformación elástica: Cuando vuelve a su forma anterior después de haber sido deformado.

Densidad aparente: La densidad o densidad absoluta es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

Densidad optima: La densidad es la medida de cuánta masa hay contenida en una unidad de volumen (densidad = masa/volumen). Usualmente se representa como kg/m^3 . Puesto de manera sencilla, si la masa es la medida de cuánto

'material' tiene un objeto, entonces la densidad es la medida de cuán compactado está ese 'material' es decir a su densidad adecuada o esperada.

Densidad relativa: La densidad relativa es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra que se toma como referencia. La densidad relativa es adimensional (sin unidades), ya que queda definida como el cociente de dos densidades.

Densidad Rice: llamada también densidad máxima teórica, como su nombre lo dice es la máxima densidad que puede presentar una mezcla asfáltica, ya que no considera vacíos en la muestra por estar esta en condición suelta, simplemente es la densidad de sólo las partículas de agregado recubiertas por el asfalto.

Desarrollo sostenible: Es el desarrollo económico caracterizado por el uso de la tecnología más apropiada en la producción para evitar la contaminación o degradación ecológica, y posibilitar la explotación racional de los recursos naturales.

Efecto invernadero: Fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera, retienen la energía que el suelo terrestre emite y una parte de la misma se envía nuevamente a la superficie de la tierra

Elastómero: Material macromolecular que permite recuperar rápidamente la dimensión y forma originales después de sufrir una deformación, como el polisobutileno o el neopreno.

Emulsión catiónica de rotura rápida: Están diseñadas para reaccionar con el árido rápidamente revirtiendo su estado de emulsión al de asfalto formando una película relativamente gruesa.

Emulsión: Líquido que tiene en suspensión pequeñísimas partículas de sustancias insolubles en agua.

Época estival: Es el periodo del año en el que más siniestros de carretera se registran en España.

Erosión: Proceso de desintegración y modelado de la superficie de la corteza terrestre efectuado por agentes naturales como el agua y el viento, que tienen un efecto abrasivo sobre las rocas a las cuales arrancan menudos fragmentos.

Esfuerzo cortante: El esfuerzo cortante, de corte, de cizalla o de cortadura es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo una viga o un pilar.

Esfuerzo de tracción: Es someter a una briqueta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la briqueta.

Esfuerzo: Medida de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo expresado en unidades de fuerza por unidad de área.

Especificaciones técnicas: Determinación, explicación o detalle de las características o cualidades de un proyecto.

Estabilidad: Una medida de la capacidad de un sistema de resistir la perturbación. La capacidad de recuperar la posición original tras el cambio.

Fallas por fatiga: La falla estructural en un pavimento se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito, sufren un agrietamiento estructural relacionado con la deformación o la tensión horizontal por tracción en la base de cada capa; en este sentido la falla relaciona la deformación o la tensión producida con el número de repeticiones admisibles; esto se denomina falla por fatiga o sea por repeticiones de carga.

Flexibilidad: Es el rango máximo de movimiento.

Fuel: Combustible líquido derivado del petróleo.

Geomalla: Es una malla tejida formada por hilos de poliéster recubiertos de polícloruro de vinilo (PVC).

Geomembranas: Son laminas poliméricas impermeables, utilizadas como barrera de sólidos y líquidos.

Geosintéticos: Es un producto plano fabricado a partir de materiales poliméricos, para ser usado con suelo, roca, tierra, o cualquier otro material geotécnico, como parte integral de un proyecto, estructura, o sistema realizado por el hombre.

Geotextiles: Los geotextiles como su nombre lo indica se asemejan a textiles, telas, que se pueden enrollar, cortar, coser. Se utilizan en obras de ingeniería, especialmente cuando se trata de construcciones donde intervienen diferentes tipos de suelo.

Granulometría abierta: Está conformada por materiales pétreos de granulometría uniforme con bajo contenido de finos y alto porcentaje de vacíos.

Granulometría discontinua: Se tiene una granulometría discontinua cuando hay ciertos tamaños de grano intermedios que faltan o que han sido reducidos o eliminados artificialmente.

Granulometría: Es la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Grietas de fatiga: Es un mecanismo de fallo complejo que incluye la aparición y la propagación de fisuras, así como el detenimiento y la rehabilitación de éstas.

Huso: se le denomina así a la franja de tolerancia que debe cumplir una granulometría, y dependerá del tipo de mezcla a fabricar.

Hidrocarburos: Compuestos de carbono e hidrogeno, producidos naturalmente (Ej. Metano, óxidos de carbono) y por el hombre a partir de derivados del petróleo. Gases o líquidos, de cadenas abiertas (alifáticos) o cerradas (aromáticos).

Junta Longitudinal: Estas juntas unen carriles adyacentes cuando van a ser pavimentados en tiempos diferentes.

Junta transversal: Son las juntas colocadas al final de un día de pavimentación ó por cualquier otra interrupción a los trabajos (por ejemplo los accesos ó aproches a un puente).

Ligante: Un compuesto adhesivo que liga y mantiene unidos dos elementos.

Ligante asfáltico modificado: Es un asfalto al cual se le ha añadido de manera homogénea y estable, cierto porcentaje previamente analizado de algún tipo de aditivo, para mejorar sus propiedades reológicas

Macrotextura: La macro textura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava entre 0,5 y 50 mm).

Maquina de los Ángeles: Es la máquina que se utiliza para realizar el ensayo de desgaste de Los Ángeles (Ensayo Cántabro). En el cual se determina el valor de la pérdida por desgaste de las mezclas bituminosas, sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a velocidades, de 3.1 a 3.5 rad/s (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas para mezclas en caliente.

Megatextura: Corresponde a irregularidades de 50 a 500 mm, relacionadas con la puesta en obra y también con diversos tipos de fallos o degradaciones (baches, peladuras, etc.) y sus reparaciones cuando no están bien realizadas.

Meteorización: Es la alteración que se produce en las rocas al entrar en contacto con la atmósfera.

Método de ensayo Cántabro por pérdida de desgaste: Se utiliza para determinar el porcentaje del ligante óptimo para la mezcla.

Mezcla asfáltica con material reciclado: Proceso mediante el cual un pavimento asfáltico existente sobre una carretera vial es desintegrado o triturado en sitio por medio de equipos de fresado y el material producto de esta trituración es posteriormente mezclado, con la finalidad de producir una mezcla adecuada para ser utilizada como una nueva base de un pavimento asfáltico.

Mezcla asfáltica densa: están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. La proporción de vacíos no supera el 6 %.

Mezclas asfálticas abiertas: están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. La proporción de vacíos supera el 12 %.

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.

Microtextura: La Microtextura corresponde a la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos, las cuales pueden presentar

características de tipo áspero o pulida. En general, los áridos utilizados en Chile por su mayor dureza presentan un menor desgaste o pulimiento.

Oxidación: Se denomina oxidación a la reacción que resulta del ataque del oxígeno a cualquier otra sustancia. Se dice que la sustancia se ha oxidado y que se ha formado una molécula que se denomina óxido; Reacción química en la que un átomo o molécula cede electrones aumentando su carga eléctrica positiva.

Película fina: En general, se refiere a películas cuyo espesor va de 0.1 μm hasta unos 300 μm .

Periodo de garantía: Se utiliza para asegurar de forma incondicional e irrevocable que la empresa responderá por fallas y desperfectos que le sean imputables, mientras esté vigente dicho periodo.

Permeabilidad: Es la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

Peso molecular: Peso medio de una molécula de un elemento o un compuesto medido en unidades, basado en 1/12 parte del peso de átomo del carbono 12 y calculado como la suma de todos los pesos atómicos de los átomos de la molécula.

Petróleo: El petróleo es una mezcla heterogénea de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos insolubles en agua. También es conocido como petróleo crudo o simplemente crudo.

Piel de cocodrilo: Roturas longitudinales y transversales, con separación menor que 15 cm, y con abertura creciente según avanza el deterioro. Generalmente presenta hundimiento del área afectada.

Polímeros: son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas y termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.

Presión hidrostática: Es la presión de un líquido bajo condiciones estáticas, es igual al producto del peso unitario del líquido por la elevación entre el punto dado y la elevación del agua libre.

Propiedades físicas: Las propiedades físicas son aquellas en las que se mantienen las propiedades originales de la sustancia ya que sus moléculas no se modifican.

Propiedades químicas: Se manifiestan cuando los materiales sufren una transformación debida a su interacción con otras sustancias. La oxidación: es la facilidad con la que un material se oxida, es decir, reacciona en contacto con el oxígeno del aire o del agua. Los metales son los materiales que más se oxidan.

Pulimento de los agregados: Se denomina pulir a una operación mecánica que se realiza en la superficie de varios materiales para mejorar su aspecto visual, su tacto y su funcionalidad. A esta operación también se le conoce con los términos pulido y pulimiento.

Punto de Asfalto: se le llama así a un determinado porcentaje de ligante respecto al peso del agregado en una mezcla asfáltica.

Punto de ebullición: El punto de ebullición es aquella temperatura en la cual la materia cambia de estado líquido a gaseoso. Expresado de otra manera, en un líquido, el punto de ebullición es la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a la presión del medio que rodea al líquido.

Rasante: Consideración de una línea, de una calle, camino o terreno, con respecto a su inclinación con la horizontal.

Reología: Estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. La reología es una parte de la mecánica de medios continuos. Una de las metas más importantes en reología es encontrar ecuaciones constitutivas para modelar el comportamiento de los materiales.

Sales: Compuestos químicos que constan de partículas eléctricas positivas y negativas que son responsables de la dureza del agua y la conductancia eléctrica.

Sección transversal: Es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Este corte permite definir la disposición de los elementos y dimensiones que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Sedimentación: Depósito de partículas previamente erosionadas y transportadas por los agentes geológicos externos desde un área madre generadora a un área receptora o cuenca sedimentaria.

Segregaciones: La segregación, disgregación y peladura, es la separación de las partículas minerales de la superficie del pavimento. El agregado fino, se separa de las partículas de mayor tamaño, lo que da lugar a una apariencia de capa de pavimento erosionada y rugosa.

Silo: Es una estructura diseñada para almacenar algún tipo de material. Los más habituales tienen forma cilíndrica, asemejándose a una torre, construida de madera, hormigón armado o metal.

Sílice: Sustancia que se encuentra en las rocas, la arena y el cuarzo, así como en algunos sitios de trabajo.

Susceptibilidad Térmica: se le llama así, a la variación de la consistencia del asfalto con respecto a la temperatura.

Usuarios: se le denomina también conductores, son las personas con las capacidades físicas y técnicas para conducir vehículos.

Tensión: Estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas que lo estiran.

Textura: Cualidad táctil y visual de una superficie o sustancia, sin tener en cuenta el color.

Versátil: Admite diversas situaciones de uso.

Viscosidad: Es la resistencia que opone un fluido a deformarse cuando está sometido a la acción de una fuerza que actúa durante un determinado tiempo y es consecuencia del rozamiento interno de las moléculas del mismo.

ANEXOS



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**DETERMINACION DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO
ASTM C 127-01**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 3/4"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Muestra N°		1	2	
Peso de la muestra al aire secada en horno (A)		2536.4	2593.4	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (B)		2565.5	2624.5	
Peso de la muestra saturada en el agua (C)		1582.5	1615.4	
B-C		983.0	1009.1	
A-C		953.9	978.0	
B-A		29.1	31.1	Promedios
Peso especifico seco =	A/(B-C)	2.58	2.57	2.575
Peso especifico saturado con superficie seca =	B/(B-C)	2.61	2.601	2.605
peso especifico aparente	A/(A-C)	2.659	2.652	2.655
porcentaje de absorción	100x(B-A)/A	1.147	1.199	1.173



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABSORCION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS
ANGELES
ASTM C 535**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicálida
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 3/4"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Ensayo de graduación: B

De esferas: 11

Peso Inicial (g)	Peso retenido en malla #12 (g)	Diferencia (g)	% de desgaste
5000	4246	754	15.1%



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



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV

ENSAYO DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS ASTM D- 4791

Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicálida Drenante en El
Proyecto: Salvador

Material: Agregado 3/4"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La Libertad

Granulometría				Tipos de partículas				Sumatoria de partículas	% de partículas (según granulometría)			
mallas	peso retenido	% retenido	% q pasa	Plana	Larga	Plana y larga	Otras		Plana	Larga	Plana y larga	Otras
3/4"	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/2"	2279.8	35.6	64.4	13.6	34.6	0	2231.6	2279.8	0.21	0.54	0	34.88
3/8"	1482	23.2	41.2	15	13.6	0	1482	1482	0.23	0.21	0	22.72
#4	2539.6	39.7	1.5	N/A	N/A	0	2539.6	2539.6	0	0	0	39.7
#8	83	1.3	0.2	N/A	N/A	0	83	83	0	0	0	1.3
Fondo	13	0.2	0				13	13				0.2
Sumas	6397.4	100							0.45	0.75	0	98.8

Porcentaje de partículas planas= 0.45

N/A= No aplica

Porcentaje de Partículas alargadas= 0.75

Porcentaje de partículas planas y alargadas= 0.0

Porcentaje de partículas normales= 98.8



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**ENSAYO DE PARTICULAS DE CARAS FRACTURADAS
ASTM D-5821**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 3/4"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Mallas		Peso (g)	Conteo (unidad)	Tipo de Partícula (g)			% por malla
Pasa	Retenido			Fracturada	No fracturada	Dudosas	
1"	3/4"	0	-	0	-	-	-
3/4"	1/2"	1139.9	-	1139.9	-	-	100
1/2"	3/8"	741	-	741	-	-	100
3/8"	#4	1269.8	N/A				
Pasa		48	N/A				
Sumas		3198.7					

Nota:

1. Porcentaje de partículas con caras fracturadas=100%
2. Criterio para el ensayo: dos o más caras fracturadas.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES
ASTM C 142**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 3/4"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Diámetro de la fracción ensayada		% retenido en la graduación	Peso de la muestra antes de ensayo (g)	Peso de la muestra después de ensayo (g)	% de grumos de arcilla en la fracción	% de grumos de arcilla en la muestra original
Pasa	Retenido					
3/4"	3/8"	58.8	2000	2000	0.00%	0.00%
3/8"	#4	39.7	1000	1000	0.00%	0.00%
Suma:						0.00%



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**METODO ESTANDAR PARA SANIDAD DE LOS AGREGADOS POR EL USO DE SULFATO
DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO
ASTM C 88**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 3/4"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Mallas		Peso retenido (g)	% retenido	Muestras a ensayar			% de material degradado (con granulometría original)
Pasa	Retenido			Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de material degradado	
1"	3/4"	0	0	N/A			
3/4"	1/2"	1139.9	35.6	669.2	666.1	0.5	0.2
1/2"	3/8"	741	23.2	330.5	327.1	1	0.2
3/8"	#4	1269.8	39.7	301.8	298.6	1.1	0.4
#4	#8	48	1.5	N/A			
			0	N/A			
Fondo					1.3		
	Sumas:	3198.7	100			Total:	0.8



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



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV

DETERMINACION DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO
ASTM C 127-01

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 1/2"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La Libertad

Muestra N°		1	2	
Peso de la muestra al aire secada en horno (A)		2660.1	2884.2	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (B)		2694.7	2918.8	
Peso de la muestra saturada en el agua (C)		1737.8	1880.9	
B-C		956.9	1037.9	
A-C		922.3	1003.3	
B-A		34.6	34.6	Promedios
Peso especifico seco =	$A/(B-C)$	2.78	2.78	2.779
Peso especifico saturado con superficie seca =	$B/(B-C)$	2.82	2.81	2.814
peso especifico aparente	$A/(A-C)$	2.884	2.875	2.879
porcentaje de absorción	$100x(B-A)/A$	1.301%	1.200%	1.250%



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABSORCION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS
ANGELES
ASTM C 535**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicaliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 1/2"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Ensayo de graduación: B

De esferas: 11

Peso Inicial (g)	Peso retenido en malla #12 (g)	Diferencia (g)	% de desgaste
5000	4206	794	15.88%



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**ENSAYO DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS
ASTM D- 4791**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicaliente Drenante en El Salvador

Material: Agregado 1/2"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La Libertad

Granulometría				Tipos de partículas				Sumatoria de partículas	% de partículas (según granulometría)			
mallas	peso retenido	% retenido	% q pasa	Plana	Larga	Plana y larga	Otras		Plana	Larga	Plana y larga	Otras
3/4"	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	
1/2"	0	0%	100	0	0	0	0	0	0	0	0	
3/8"	1208.68	22%	41.2	4	0	0	1204.68	1208.68	0.07%	0	0	22.37%
#4	3900.74	71%	1.5	23	0	0	3877.74	3900.74	0.43%	0	0	72.02%
#8	274.7	5%	0.2	N/A	N/A	0	0	0	0	0	0	5%
Fondo	0	0%	0									
Sumas	6397.4	100							0.50%	0	0	99.50%

Porcentaje de partículas planas= 0.50

N/A= No aplica

Porcentaje de Partículas alargadas= 0.0

Porcentaje de partículas planas y alargadas= 0.0

Porcentaje de partículas normales= 99.5



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**ENSAYO DE PARTICULAS DE CARAS FRACTURADAS
ASTM D-5821**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 1/2"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La Libertad

Mallas		Peso (g)	Conteo (unidad)	Tipo de Partícula (g)			% por malla
Pasa	Retenido			Fracturada	No fracturada	Dudosas	
1"	3/4"	0	-	0	-	-	-
3/4"	1/2"	0	-	0	-	-	100
1/2"	3/8"	604.34	-	604.34	-	-	100
3/8"	#4	1950.37	N/A				
Pasa		137.35	N/A				
Sumas		2692.06					

Nota:

1. Porcentaje de partículas con caras fracturadas=100%
2. Criterio para el ensayo: dos o más caras fracturadas.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES
ASTM C 142**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicálida
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 1/2"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La Libertad

Diámetro de la fracción ensayada		% retenido en la graduación	Peso de la muestra antes de ensayo (g)	Peso de la muestra después de ensayo (g)	% de grumos de arcilla en la fracción	% de grumos de arcilla en la muestra original
Pasa	Retenido					
3/4"	3/8"	71.2	2000	2000	0.00%	0.00%
3/8"	#4	28.5	1000	1000	0.00%	0.00%
					Suma:	0.00%



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**METODO ESTANDAR PARA SANIDAD DE LOS AGREGADOS POR EL USO DE SULFATO
DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO
ASTM C 88**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 1/2"

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Mallas		Peso retenido (g)	% retenido	Muestras a ensayar			% de material degradado (con granulometría original)
Pasa	Retenido			Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de material degradado	
1"	3/4"			N/A			
3/4"	1/2"	0	0%	N/A			
1/2"	3/8"	604.34	22%	300	299	0.3%	0.07%
3/8"	#4	1950.37	71%	999.7	996.3	0.3%	0.24%
#4	#8	137.35	5%	100	98.2	1.8%	0.09%
Fondo							
	Sumas:	2692.06	100			Total:	0.40%



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**DETERMINACION DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO
ASTM C 128-88**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Arena triturada

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La Libertad

Muestra N°	1	2		
Recipiente N°	5	6		
Peso Frasco	410.5	438.4		
Peso frasco + material	1266.3	1245.5		
Peso agregado SSS (W)	855.5	807.1		
Peso seco + tara	1010.9	962.4		
Tara	180.4	174.1		
Peso seco (A)	830.5	788.3		
Picnómetro lleno de agua (B)	1441.4	1477.9		
Picnómetro lleno de agua + aforado (C)	1957.1	1966.8		Promedios
Peso especifico saturado con superficie seca	2.516	2.536		2.526
Peso especifico seco	2.442	2.477		2.460
Peso especifico aparente	2.638	2.633		2.636
Porcentaje de absorción	3.046	2.385		2.716

$$\text{Peso especifico saturado con superficie seca} = \frac{W}{B + W - C} = 2.526$$

$$\text{Peso especifico seco} = \frac{A}{B + W - C} = 2.460$$

$$\text{Peso especifico aparente} = \frac{A}{B + A - C} = 2.636$$

$$\% \text{ absorcion} = \frac{W - A}{A} \times 100 = 2.716$$



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**EQUIVALENTE DE ARENA
ASTM D-2419**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Arena triturada

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Muestra #	H (altura original de la arena antes de introducir el pistón)	h(altura de la arena después de introducir el pistón)	Equivalente de arena
1	4.1	4.7	87.20%
2	4.2	4.8	87.50%
		X=	87.40%



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



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV

METODO ESTANDAR PARA SANIDAD DE LOS AGREGADOS POR EL USO DE SULFATO
DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO
ASTM C 88-99

Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Proyecto: Drenante en El Salvador

Material: Arena triturada

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La Libertad

Mallas		Graduación de la muestra original	Peso de la fracción antes del ensayo	% que pasa la malla designada	% perdido pesado
Pasa	Retenido				
3/8"	4	5			
4	8	27.6	100	0.4	0.1
8	16	21.4	100	1.4	0.3
16	30	14.3	100	3.5	0.5
30	50	11.5	100	3.4	0.4
TOTAL					1.3



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES
ASTM C 142**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Arena triturada

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Mallas		Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de grumos de arcilla según granulometría
Pasa	Retenido			
# 4	#16	150.4	150.2	0.10%

Observaciones: peso final después de tamizado por la malla #20.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**LIMITES DE ATTERBERG
ASSHTO T 89 Y T 90**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Arena triturada

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La Libertad

Limite plástico:

Determinación Nº	1	2	3
Recipiente Nº			
Peso Rec. + Peso Suelo Húmedo			
Peso Rec. + Peso Suelo Seco		NP	
Peso de agua, Ww			
Peso del recipiente			
Peso del suelo seco			
Contenido de agua %			

Contenido natural de agua:

Determinación Nº	1	2	3
Recipiente Nº			
Peso Rec. + peso suelo húmedo			
Peso Rec. + peso suelo seco			
Peso de agua, Ww			
Peso del recipiente			
Peso de suelo seco			
Contenido de agua %			

Limite líquido:

Determinación Nº	1	2	3
Nº de golpes			
Recipiente Nº			
Peso Rec. + peso suelo húmedo			
Peso Rec. + peso suelo seco		NP	
Peso de agua, Ww			
Peso del recipiente			
Peso de suelo seco			
Contenido de agua %			

Resultados obtenidos:

Limite Plástico	NP
Limite Liquido	NP
Índice Plástico	NP
Índice de flujo	
C. natural de agua	
Limite de contracción	
Valor B	
Índice de tenacidad	



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO INTERMEDIO
ASHTO T 27-93 Y ASTM C 136-84A**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 3/4"

Procedencia: La Cantera SA de CV

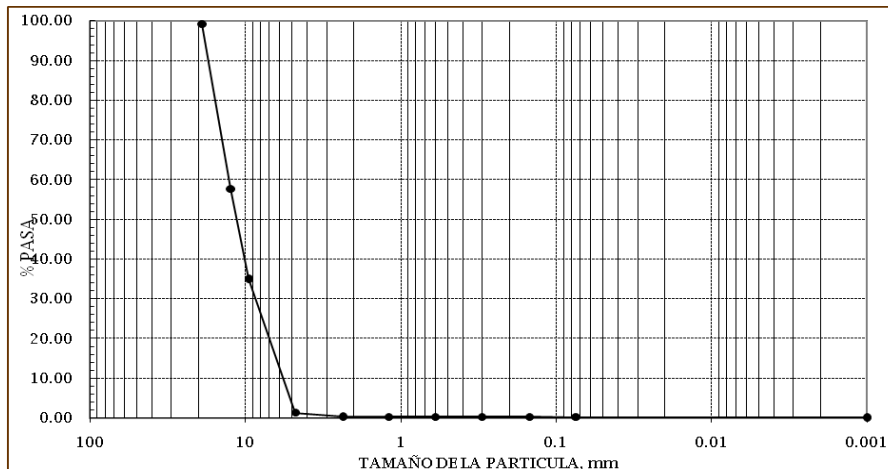
Ubicación: San Diego, La Libertad

Peso inicial sin lavar: **5471 g**

Peso inicial lavado: **5440 g**

Material fino por lavado: **31 g**

Malla #	mm	Peso Retenido parcial	% Retenido parcial	% Ret. acumulado	% acumulado que pasa
3/4"	19,0	45.2	0.83	0.83	99.17
1/2"	12.5	2251.9	41.45	42.28	57.72
3/8"	9.50	1234.3	22.72	65.01	34.99
N° 4	4.76	1829.6	33.68	98.68	1.32
N° 8	2.36	54.3	1.00	99.68	0.32
Nº 16	1.19	3.8	0.07	99.75	0.25
Nº 30	0.60	1.5	0.03	99.71	0.29
Nº 50	0.30	1.3	0.02	99.73	0.27
Nº 100	0.15	1.8	0.03	99.77	0.23
Nº 200	0.075	2.7	0.05	99.78	0.22
FONDO	0.001	6.1	0.11	99.90	0.10
TOTALES		5432.5	100.0		





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO INTERMEDIO
ASSHTO T 27-93 Y ASTM C 136-84A**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Agregado 1/2"

Procedencia: La Cantera SA de CV

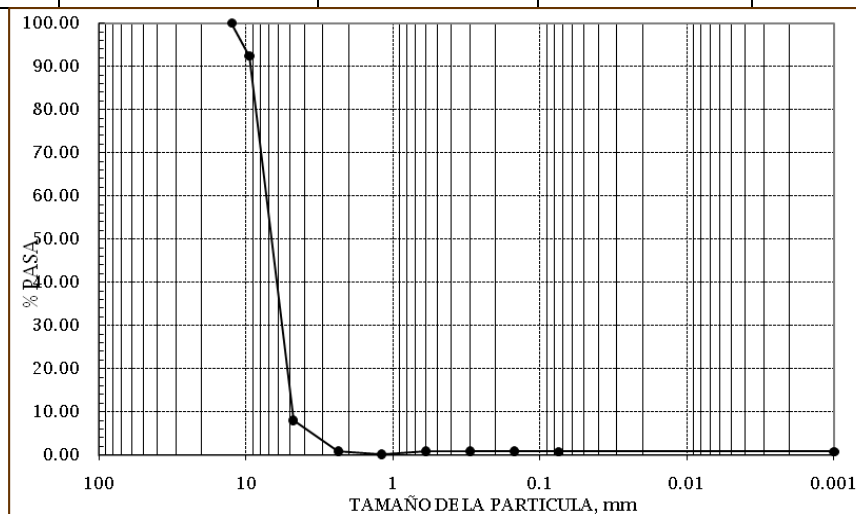
Ubicación: San Diego, La Libertad

Peso inicial sin lavar: **2186 g**

Peso inicial lavado: **2176 g**

Material fino por lavado: **10 g**

Malla #	mm	Peso Retenido parcial	% Retenido parcial	% Ret. acumulado	% acumulado que pasa
1/2"	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	164.80	7.57	7.57	92.43
N° 4	4.76	1836.60	84.41	91.98	8.02
N° 8	2.36	154.80	7.11	99.10	0.90
Nº 16	1.19	16.50	0.76	99.86	0.14
Nº 30	0.60	0.80	0.04	99.14	0.86
Nº 50	0.30	0.10	0.00	99.14	0.86
Nº 100	0.15	0.50	0.02	99.16	0.84
Nº 200	0.075	1.10	0.05	99.19	0.81
FONDO	0.001	0.60	0.03	99.22	0.78
TOTALES		2175.80	100.0		





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO INTERMEDIO
ASHTO T 27-93 Y ASTM C 136-84A**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Arena triturada

Procedencia: La Cantera SA de CV

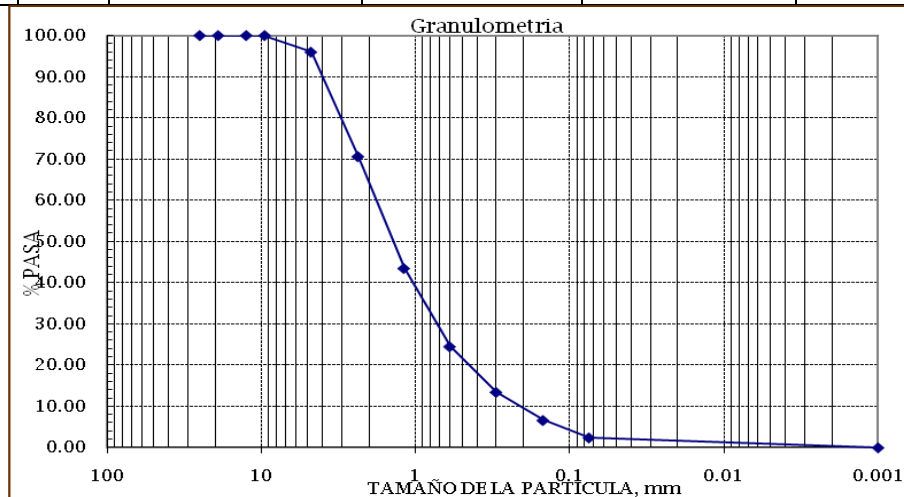
Ubicación: San Diego, La Libertad

Peso inicial sin lavar: **978.5 g**

Peso inicial lavado: **904.5 g**

Material fino por lavado: **74 g**

Malla #	mm	Peso Retenido parcial	% Retenido parcial	% Ret. acumulado	% acumulado que pasa
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.76	36.50	4.03	4.03	95.97
N° 8	2.36	229.50	25.34	29.37	70.63
N° 16	1.19	245.70	27.13	56.50	43.50
N° 30	0.60	172.00	18.99	75.49	24.51
N° 50	0.30	100.20	11.06	86.55	13.45
N° 100	0.15	61.80	6.82	93.38	6.62
N° 200	0.075	38.20	4.22	97.59	2.41
FONDO	0.001	21.80	2.41	100.00	0.00
TOTALES		905.7	100.0		





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
ASFALCA SA DE CV**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO INTERMEDIO
ASHTO T 27-93 Y ASTM C 136-84A**

Proyecto: Trabajo de Graduación Diseño de Mezcla Semicliente
Drenante en El Salvador

Material: Formula
Combinada

Procedencia: La Cantera SA de CV

Ubicación: San Diego, La
Libertad

Peso inicial sin lavar: **5471 g**

Peso inicial lavado: **5440 g**

Material fino por lavado: **31 g**

MALLA Número	mm	Arena triturada	Grava 1/2''	Grava 3/4''	Porcentaje combinado real	Especificaciones Huso MD - 1	
						Min	Max
		22.00%	28.00%	50.00%		100.00%	
3/4"	19	100%	100%	99.2%	100.0%	100.0%	100.0%
1/2"	12.50	100%	100%	58.0%	87.4%	70.0%	100.0%
3/8"	9.50	100%	92.5%	35.5%	72.3%	50.0%	80.0%
Nº 4	4.76	96.3%	8.4%	2.0%	23.8%	15.0%	30.0%
Nº 8	2.36	72.8%	1.4%	1.0%	15.6%	10.0%	22.0%
Nº 30	0.60	30.1%	0.6%	0.9%	5.2%	6.0%	13.0%
Nº 200	0.075	9.7%	0.5%	0.8%	2.0%	3.0%	6.0%
TOTALES							

