

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN
RECARPETEOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.**

PRESENTADO POR:
SONIA KARINA HERNÁNDEZ SANTILLANA
LUDWIN ARNOLDO RODRÍGUEZ ROQUE
MIGUEL ANGEL SERRANO MEJÍA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2005

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :
Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :
Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :
Ing. Luís Rodolfo Nosiglia Durán

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

Título:

**GUÍA BÁSICA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN
RECARPETEOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.**

Presentado por:

SONIA KARINA HERNÁNDEZ SANTILLANA
LUDWIN ARNOLDO RODRÍGUEZ ROQUE
MIGUEL ANGEL SERRANO MEJÍA

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director:

ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

Docente Director Externo:

ING. CARLOS ALFONSO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

Docente Director Externo:

ING. JOSE TULIO PINEDA MARTÍNEZ

San Salvador, Mayo de 2005

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

ING. CARLOS ALFONSO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

ING. JOSÉ TULIO PINEDA MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTO

A **DIOS** porque siempre sentí tu compañía y tu protección. Me ayudaste a superar mis propios límites y demostrarme siempre que con constancia y esfuerzo las metas se pueden alcanzar. Porque cuando me sentí agobiada y creí que era un camino que nunca iba a cruzar, me ayudaste a cargar mis sentimientos y me llenaste de paciencia, por lo cual ahora disfruto de este triunfo contigo y las personas importantes de mi vida. GRACIAS.

A mis Padres: **Abel Antonio Hernández** por ser para mí un ejemplo de trabajo y entrega. Este triunfo también es suyo y se lo dedico con mucho amor.

Ana Santillana por tu amor, invaluable comprensión, sabios consejos, mucha entrega, aliento y compañía en mis momentos difíciles.

Gracias por ser mi inspiración y el motor para mi superación. A los dos, inmensas gracias porque son mi gran tesoro.

A mis Hermanas **Lili y Silvi** por apoyarme, sé que esta meta la disfrutan conmigo, como los incontables momentos y anécdotas que nos ha tocado vivir juntas. A **Andrea Paola** mi sobrina, porque desde que llegaste a nuestra familia, has llenado mi vida de mucha ternura y alegría.

A **Mama Manda** mi abuela que fue una mujer fundamental en mi vida, ejemplo de tenacidad y valentía. Yo se que desde el cielo estás orgullosa de mi.

A **Ricky Pacheco**, mi gordo, mi novio, mi amigo, mi compañero de muchas batallas estudiantiles, la persona más valiosa y especial que tuve la suerte de conocer, que ha sido mi apoyo personal y mi otro tesoro.

A **Ludwin** porque fue un buen compañero y un apoyo.

A **mis asesores** por su ayuda desinteresada, su tiempo y conocimientos que fueron fundamentales para poder hoy lograr ese objetivo. Gracias

A muchas personas que desinteresadamente colaboraron en las diferentes etapas de este camino.

SONIA KARINA

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios primeramente, por que por Él fueron hechas todas las cosas y por medio de Él subsisten.

A mamá y papá, por cuidarme desde que tuvieron conocimiento de mí

A Yoko "la mujer de hierro", jamás en la vida voy a poder pagar todo lo que has hecho por mí

A Renso, mis respetos por tu excéntrica manera de ser, en muchas ocasiones quisiera ser como voz

A Yury por la filosofía de tu vida!!! en el fondo me agrada.

A los ingenieros: Carlos Rodríguez, Tulio Pineda y Lesly Mendoza, por su ayuda desinteresada

A Karina por que no me dejo tirar la toalla

A Lili & Silvi porque sacrificaron muchas novelas y programas de televisión por la causa

A Jackeline por jugarse la vida conmigo, y ser mi mayor apoyo en la etapa final de esta tesis

A otros que de manera indirecta me colaboraron con su granito de arena (esto es por si se me escapa alguien)

Dedico este trofeo a mi nueva familia: Jackeline & Sachi, ahora las principales razones de mi vida

LUDWIN RODRÍGUEZ

AGRADECIMIENTO

A DIOS TODOPODEROSO: Por haberme iluminado y entregado fuerzas y sabiduría para seguir adelante.

A MIS PADRES: Alejandra Mejía y Manuel Serrano, por sus sabios consejos, el apoyo brindado y el esfuerzo incomparable que hicieron para alcanzar esta meta deseada. Gracias por su amor y entrega. Este triunfo es suyo.

A MIS HERMANOS: Por su comprensión y amor, y por todo aquel tiempo que tuvimos que sacrificar para poder culminar este reto.

A MIS DEMAS FAMILIARES,

NOVIA Y AMIGOS: Que me brindaron siempre su apoyo y especialmente a Rhina del Carmen Cruz que estuvo conmigo desde el inicio hasta el final.

A MIS COMPAÑEROS DE

TESIS: Por haber puesto todo su esfuerzo en la culminación de la meta alcanzada.

MIGUEL SERRANO

INDICE

CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3 OBJETIVOS	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	6
1.4 ALCANCES.....	7
1.5 LIMITACIONES	8
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	8
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	11
2.1 INTRODUCCIÓN.....	11
2.2 PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD.....	12
2.2.1 CONCEPTOS Y GENERALIDADES	13
2.2.1.1 Pavimento.....	13
2.2.1.2 Pavimento Flexible	13
2.2.1.3 Estructura Básica del Pavimento	13
2.2.1.4 Mantenimiento de Pavimentos Flexibles.....	16
2.2.1.5 Consideraciones Adicionales en Recarpeteos	21
2.2.1.6 Calidad	23
2.2.1.7 Control de Calidad y Aseguramiento de la Calidad (QC/QA)	25
2.2.1.8 Sistema del Control de Calidad (QSC)	26
2.2.1.9 Plan de Control de Calidad (QCP).....	27
2.2.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	27
2.2.3 PRUEBAS DE LABORATORIO	29
2.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	35
2.3.1 ASFALTOS.....	35
2.3.1.1 Durabilidad.....	35
2.3.1.2 Adhesión y Cohesión	36
2.3.1.3 Susceptibilidad a la Temperatura	37
2.3.1.4 Endurecimiento y Envejecimiento.....	38
2.3.2 AGREGADOS PARA LA MEZCLA.....	45
2.3.2.1 Graduación y Tamaño Máximo.....	48

2.3.2.2	Tamaño Máximo de Partícula	50
2.3.2.3	Limpieza	52
2.3.2.4	Dureza	52
2.3.2.5	Forma de la Partícula.....	54
2.3.2.6	Textura Superficial.....	56
2.3.2.7	Capacidad de Absorción.....	57
2.3.2.8	Afinidad con el Asfalto	58
2.3.2.9	Peso Específico.....	59
2.4	ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO.....	61
2.4.1	COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO	61
2.4.2	INDICADORES DE COMPORTAMIENTO.	63

CAPÍTULO III. CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA 66

3.1	GENERALIDADES	66
3.2	CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA EL DISEÑO.....	68
3.2.1	DENSIDAD	68
3.2.2	VACÍOS DE AIRE	68
3.2.3	VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)	69
3.2.4	CONTENIDO DE ASFALTO Pb	70
3.3	PROPIEDADES DESEADAS EN LAS MAC COLOCADA.....	72
3.3.1	ESTABILIDAD.....	72
3.3.2	DURABILIDAD.....	72
3.3.3	IMPERMEABILIDAD	73
3.3.4	TRABAJABILIDAD	73
3.3.5	FLEXIBILIDAD	73
3.3.6	RESISTENCIA A LA FATIGA	73
3.3.7	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	74
3.4	CRITERIOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS	76
3.5	TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA EL RECARPETEO	77
3.5.1	TIPOS DE MEZCLAS SEGUN DISTINTAS VARIABLES	77
3.5.2	MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.	78
3.5.3	MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO	80
3.6	METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	81
3.6.1	MÉTODO MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.	84

3.6.1.1	Descripción General	84
3.6.1.2	Procedimiento para la Aplicación del Método Marshall	87
3.6.1.3	Ensayos Marshall	90
3.6.1.4	Análisis de Resultados Ensayo Marshall	94
3.6.1.5	Selección del Diseño de Muestra Adecuado	96
3.6.1.6	Método Marshall Modificado	98
3.6.2	MÉTODO HVEEM DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	100
3.6.2.1	Generalidades	100
3.6.2.2	Procedimiento por el Método Hveem	103
3.6.2.3	Ensayos Hveem.....	106
3.6.2.4	Análisis del Ensayo Hveem.....	109
3.6.3	MÉTODO DEL SUPERPAVE	114
3.6.3.1	Definición.....	114
3.6.3.2	Ligantes Asfálticos	115
3.6.3.3	Pruebas de laboratorio.....	118
3.6.3.4	Agregados Minerales	121
3.6.3.5	Mezclas Asfálticas	132
3.7	APLICACIONES DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO	140
3.8	PRUEBAS DE LABORATORIO DE ACUERDO AL METODO DE DISEÑO.....	142

CAPITULO IV. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES EXISTENTES..... 145

4.1	GENERALIDADES	145
4.2	TIPOLOGÍA DE DAÑOS	149
4.3	EVALUACION DE LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES EXISTENTES	169
4.3.1	EVALUACION DE CONDICIONES ESTRUCTURALES	172
4.3.1.1	Viga Benkelman.....	173
4.3.1.2	Deflectómetro de Impacto.....	174
4.3.1.3	Estudio Geotecnico.....	177
4.3.2	CONDICIONES FUNCIONALES	184
4.3.2.1	Rugosidad (IRI).....	184
4.3.2.2	Ahuellamiento (RUT).....	186
4.3.2.3	Inspeccion Visual.....	188
4.4	DETERMINACION DE ESPESORES DE RECARPETEO.....	200
4.4.1	DISEÑO DE ESPESORES METODOLOGÍA AASHTO	200
4.4.1.1	Definición del Espesor de Refuerzo.....	211

**CAPITULO V. PROCEDIMIENTO PARA LA APROBACION DE
REQUISITOS CONTRACTUALES..... 213**

5.1	GENERALIDADES	213
5.1.1	CONTROL DE CALIDAD (QC)	214
5.1.2	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (QA)	214
5.1.3	SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD (QCS)	214
5.1.4	PLAN DE CONTROL DE LA CALIDAD (QCP)	215
5.1.5	PLAN QC INTERINO	217
5.2	DOCUMENTOS CONTRACTUALES.....	219
5.3	DOCUMENTOS DE APROBACION DE REQUISITOS CONTRACTUALES (DARC)	221
5.3.1	REGISTRO DE ENTREGA DE LOS DARC	226
5.4	CONTROL DE CALIDAD DEL CONTRATISTA	227
5.4.1	FASES DE CONTROL.....	227
5.4.1.1	Fase Preparatoria.....	227
5.4.1.2	Fase Inicial.....	228
5.4.1.3	Fase de Seguimiento.....	228
5.4.2	MUESTRAS, ENSAYOS Y ESPECIFICACIONES	231
5.4.3	DOCUMENTACIÓN	233
5.4.3.1	Recarpeteo con Mezcla Asfáltica en Caliente.....	237
5.5	ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DEL SUPERVISOR.....	257
5.5.1	INSPECCIÓN BÁSICA	257
5.5.2	SUPERVISIÓN AL LABORATORIO DEL CONTRATISTA.....	258
5.5.3	INFORME DE NO CONFORMIDAD	259
5.5.4	NOTIFICACIÓN DE NO CONFORMIDAD.....	259
5.5.5	TRATAMIENTO DE NO CONFORMIDAD	259
5.5.6	INSPECCIÓN DE LA FINALIZACIÓN.....	263

CAPÍTULO VI – PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS..... 265

6.1	GENERALIDADES	265
6.2	PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA ASFALTICA	265
6.2.1	REQUISITOS PARA LAS PLANTAS MEZCLADORAS.	270
6.2.2	PREPARACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO PARA MEZCLA EN PLANTA.	271
6.2.3	PREPARACION DEL CEMENTO ASFÁLTICO.	274

6.2.4	MEZCLA.....	275
6.2.5	CANTIDAD DE CEMENTO ASFÁLTICO.....	275
6.3	TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE LA MEZCLA.....	275
6.3.1	TRANSPORTE DE LA MEZCLA.....	275
6.3.1.1	Controles de Campo, Inspección Visual de la Mezcla.....	277
6.3.2	COLOCACION DE LA MEZCLA.....	285
6.3.2.1	Procedimientos de Colocación.....	285
6.4	COMPACTACION DE LA MEZCLA.....	292
6.4.1	MECÁNICA DE LA COMPACTACIÓN.....	292
6.4.2	SECUENCIA DE LAS OPERACIONES DE COMPACTACIÓN.....	300
6.4.3	PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS DE COMPACTACIÓN.....	302
6.5	MEDICIONES DE CAMPO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO Y DESPUES.....	314
6.5.1	CONTROL DE CALIDAD, TOLERANCIAS Y ACEPTACION.....	314
6.5.2	CORRECCIONES.....	320

**CAPÍTULO VII. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DONDE
FUE APLICADO EL RECARPETEO..... 326**

7.1	INTRODUCCIÓN.....	326
7.2	GENERALIDADES.....	327
7.3	EVALUACION DE CONDICIONES ESTRUCTURALES.....	328
7.3.1	MEDICION DE LA DEFLEXION.....	328
7.3.2	ESTUDIO GEOTECNICO.....	330
7.3.3	CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS (SN).....	333
7.4	EVALUACION DE LAS CONDICIONES FUNCIONALES.....	334
7.4.1	RUGOSIDAD (IRI).....	334
7.4.2	AHUELLAMIENTO (RUT).....	335
7.4.3	DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS SUPERFICIALES.....	337
7.5	DISEÑO DE LA REHABILITACION PROPUESTO.....	339
7.6	EVALUACION DE LA CALIDAD DEL DISEÑO.....	347
7.6.1	DISEÑO DE LA MEZCLA.....	347
7.6.2	AGREGADOS.....	348
7.6.3	CEMENTO ASFÁLTICO.....	350
7.6.4	MEZCLA ASFÁLTICA.....	350

7.6.5	TEMPERATURA DE FABRICACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	352
7.6.6	TEMPERATURA DE COLOCACIÓN EN CAMPO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.	355
7.6.7	REVISIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA POR MEDIO DEL MÉTODO MARSHALL.	357

CAPITULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 362

CONCLUSIONES	362
RECOMENDACIONES	366
BIBLIOGRAFÍA	373

INDICE DE TABLAS

	Pág
CAPITULO II. MARCOTEÓRICO	
Tabla 2.1	Ensayos de Laboratorio para Materiales de Mezcla 30
Tabla 2.2	Valores Aceptables para Ensayos de Laboratorio de los Agregados 32
Tabla 2.3	Requisitos para Cementos Asfálticos clasificados por Viscosidad a 60 °C (AASHTO M 226) 42
Tabla 2.4	Requisitos para Cementos Asfálticos clasificados por Viscosidad a 60 °C (Basada en el Residuo del Ensayo de RTFO) (AASHTO M 226) 43
Tabla 2.5	Requisitos para Cementos Asfálticos clasificado por Penetración a 60 °C (AASHTO M 20) 44
Tabla 2.6	Rango de Valores Nominales para la Graduación de Agregados para Recarpeteos con Mezclas Asfálticas en Caliente 49
CAPITULO III. CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA	
Tabla 3.1	Vacíos en el Agregado Mineral (Requisitos de VMA) 70
Tabla 3.2	Causas Y Efectos en las Propiedades de las Mezclas Asfálticas para Recarpeteos 74
Tabla 3.3	Criterios para el Diseño Marshall 93
Tabla 3.4	Pasos para el Diseño de Mezclas Asfálticas por el Método Marshall 97
Tabla 3.5	Parámetros para Marshall Modificado 99
Tabla 3.6	Factores de Área Superficial 104
Tabla 3.7	Criterios de Diseño de Mezcla Método Hveem 108
Tabla 3.8	Pasos para el Diseño de Mezclas Asfálticas por el Método Hveem 113
Tabla 3.9	Especificación Superpave de Ligantes Asfálticos y especificación del Grado de Performance del Ligante 116
Tabla 3.10	Angularidad del Agregado Grueso 123

Tabla 3.11	Angularidad del Agregado Fino	123
Tabla 3.12	Partículas Chatas y Alargadas	124
Tabla 3.13	Contenido de Arcilla	124

Requerimientos de Superpave para la Granulometría de la Mezcla Asfáltica

Tabla 3.14	Tamaño Nominal 37.5 mm	126
Tabla 3.15	Tamaño Nominal 25.0 mm	127
Tabla 3.16	Tamaño Nominal 19.0 mm	128
Tabla 3.17	Tamaño Nominal 12.5 mm	129
Tabla 3.18	Tamaño Nominal 9.5 mm	130
Tabla 3.19	Niveles de Diseño de Mezcla de Superpave	135

CAPITULO IV. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES EXISTENTES

Tabla 4.1	Fases Básicas de la Vida de un Pavimento Flexible	145
Tabla 4.2	Daños en términos generales	151
Tabla 4.3	Catálogo de Daños según SIECA	153
Tabla 4.4	Ensayos de Carga para Pavimentos Flexibles	172
Tabla 4.5	Capacidad Soporte de la Subrasante CBR%.	180
Tabla 4.6	Valor de CBR% según tipo de Suelo	181
Tabla 4.7	Capacidad Estructural de Pavimentos SN	183
Tabla 4.8	Calificación de la carretera en base a la Rugosidad IRI	185
Tabla 4.9	Causas de Ahuellamiento y posibles soluciones	188

Tabla 4.10a	Formato de Evaluación de Pavimento Asfáltico (según Instituto del Asfalto)	190
Tabla 4.10b	Formato para Levantamiento de Daños (complemento de tabla 4.10 b)	191
Tabla 4.11	Tipo de Intervención según Evaluación Global del Pavimento	192
Tabla 4.12	Cuantificación de Peladuras y Baches en % para el diseño	193
Tabla 4.13	Calificación de Serviciabilidad	194
Tabla 4.14	Valores de Serviciabilidad inicial y final sugeridos por AASHTO	194
Tabla 4.15	Calificación del Estado del Pavimento según OPI	196
Tabla 4.16	Formato para el Levantamiento General de Daños en el Pavimento	198
Tabla 4.17	Clasificación de diferentes tipos de Falla según el Instituto del Asfalto	199
Tabla 4.18	Valores sugeridos para el coeficiente estructural para capas de pavimentos deteriorados según AASHTO	206
Tabla 4.19	Factores de Daños según el tipo de vehículo	209

CAPITULO V. PROCEDIMIENTO PARA LA APROBACIÓN DE REQUISITOS CONTRACTUALES

Tabla 5.1	Formulario para la Remisión de Ítems	222
Tabla 5.2	Documento de Aprobación de Requisitos Contractuales	224
Tabla 5.3	Formato del Documento de Aprobación de Requisitos Contractuales (DARC)	225
Tabla 5.4	Registro de Entregas de Documentos de Aprobación de Requisitos Contractuales (DARC)	226
Tabla 5.5	Control de Colocación de Mezcla Asfáltica en Caliente	229
Tabla 5.6	Control para Riegos de Imprimación y Liga en pavimentos asfálticos	229
Tabla 5.7	Resumen de las Fases de Inspección	230

Tabla 5.8	Reporte del Control de Calidad del Contratista	234
Tabla 5.9	Lista de DARCs por actividad, previos a la Actividad de Recarpeteo	237
Tabla 5.10	Certificado de Calidad del Asfalto	239
Tabla 5.11	Curva de Viscosidad – Temperatura del ligante bituminoso	240
Tabla 5.12	Determinación del peso específico y Absorción del Agregado Grueso	241
Tabla 5.13	Ensayo de Resistencia a la Abrasión en Máquina de los Ángeles ASTM C-131.	242
Tabla 5.14	Ensayo de Partículas Planas y Alargadas	242
Tabla 5.15	Ensayo de Cubicidad de las Partículas	243
Tabla 5.16	Ensayo Sanidad de los Agregados por el uso de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio (agregado grueso) AASHTO T-104	243
Tabla 5.17	Determinación del Peso Específico y Absorción del Agregado Fino	244
Tabla 5.18	Ensayo Sanidad de los Agregados por el uso de Sulfatos de Sodio o Sulfato de Magnesio (agregado fino) AASHTO T-104.	245
Tabla 5.19	Ensayo Valor Equivalente de Arena ASTM D-2419. (agregado fino)	245
Tabla 5.20	Ensayo Índice de durabilidad en agregados pétreos ASTM D-3744.	246
Tabla 5.21	Resultados de Ensayos de la Mezcla de Trabajo	246
Tabla 5.22	Criterios de Aceptación para la Mezcla Asfáltica en Caliente	250
Tabla 5.23	Puntos de Inspección	251
Tabla 5.24	Acta de Reunión Preparatoria	252
Tabla 5.25	Reporte de Inspección	253
Tabla 5.26	Autorización para colocación de Aglomerado Asfáltico	254

Tabla 5.27	Control de Colocación de Aglomerado Asfáltico	254
Tabla 5.28	Control de Ensayos de Densidad y Espesor de Aglomerado Asfáltico	255
Tabla 5.29	Gráficas de Control de Producción de Mezcla Asfáltica	256
Tabla 5.30	Reporte de Acciones Correctoras	260
Tabla 5.31	Procedimientos Operativos de Calidad Acciones Correctivas y Preventivas del Contratista	262

CAPITULO VI. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

Tabla 6.1	Exigencias Físicas para Plantas Mezcladoras	270
Tabla 6.2	Temperaturas de la Mezcla en el Mezclador para distintos tipos de asfalto	273
Tabla 6.3	Controles e Inspecciones de Campo	277
Tabla 6.4	Reporte Preliminar de Inspección – Planta de Mezcla en Caliente	279
Tabla 6.5	Listado de Interrogantes según Normas	281
Tabla 6.6	Tipos de asfalto utilizados para el Riego de Liga	285
Tabla 6.7	Problemas típicos de la Carpeta Asfáltica y sus posibles Causas	291
Tabla 6.8	Ejemplo de control de densidades de campo (vibración baja)	296
Tabla 6.9	Ejemplo de control de densidades de campo (vibración alta)	297
Tabla 6.10	Procedimientos de compactación para diferentes espesores	301
Tabla 6.11	Procedimientos especiales de compactación. Consideraciones para compactaciones particulares	309
Tabla 6.12	Factores que afectan la compactación	310
Tabla 6.13	Procedimiento de Recarpeteo según la S.I.E.C.A.	312
Tabla 6.14	Temperaturas del proceso de compactación	314

Tabla 6.15	Control de Calidad de los materiales	315
Tabla 6.16	Requisitos y Tolerancias	317
Tabla 6.17	Deflexiones Máximas Permisibles	319
Tabla 6.18	Tabla Guía para el Control de Calidad en Recarpeteos con Mezclas Asfálticas en Caliente	322

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

Figura 2.1	Estructura básica de los Pavimentos Asfálticos	15
Figura 2.2	Ensayo de Penetración	43
Figura 2.3	Ensayo de Granulometría	48

CAPITULO III CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Figura 3.1	Relaciones de Dependencia	77
Figura 3.2	Parámetro para la Estabilidad Marshall	85
Figura 3.3	Gráficas usadas por el Método Marshall	95
Figura 3.4	Esquema de ensayo de Estabilidad por Hveem	101
Figura 3.5	Prueba del Estabilómetro	107
Figura 3.6	Aparato para la Prueba de Expansión	108
Figura 3.7	Gráficas tipo utilizadas en el método Hveem	110
Figura 3.8	Gráfico de Pirámide	111
Figura 3.9	Reómetro de Corte Dinámico	118
Figura 3.10	Viscosímetro Rotacional	119
Figura 3.11	Reómetro de Corte Dinámico	120
Figura 3.12	Ensayo de tracción directa	121
Figura 3.13	Límites granulométricos SUPERPAVE para una mezcla de 12.5	125

Figura 3.14	Predicción de la Performance del pavimento	133
Figura 3.15	Nivel 1 de diseño SUPERPAVE	137
Figura 3.16	Nivel 2 de diseño SUPERPAVE	138
Figura 3.17	Nivel 3 de diseño SUPERPAVE	139
CAPITULO IV EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES EXISTENTES		
Figura 4.1	Evaluación y clasificación del pavimento	169
Figura 4.2	Evaluación de las condiciones existentes del pavimento	171
Figura 4.3a	Esquema de viga Benkelman	173
Figura 4.3b	Esquema de la forma de carga de la viga Belkeman	174
Figura 4.4a	Deflectómetro de impacto	175
Figura 4.4b	Esquema de los geófonos para medir las deflexiones	176
Figura 4.5	Equipo utilizado para medición del ahuellamiento	187
Figura 4.6	Secciones homogéneas y espesor requeridos	211
CAPITULO V PROCEDIMIENTO PARA LA APROBACIÓN DE REQUISITOS CONTRACTUALES		
Figura 5.1	Elementos del sistema de control de calidad	218
Figura 5.2	Flujograma de fases de control inicial – seguimiento - final	231
CAPITULO VI PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVOS		
Figura 6.1	Planta de dosificación de mezclas asfálticas	266
Figura 6.2	Planta mezcladora de tambor para mezclas asfálticas	267
Figura 6.3	Esquema de una planta de dosificación de mezcla asfáltica	269

Figura 6.4	Tiempos para que el asfalto se enfríe a 85°C	294
Figura 6.5	Secuencia de compactación	300
Figura 6.6	Compactación de juntas transversales	302
Figura 6.7	Compactación de juntas longitudinales	304
Figura 6.8	Densímetro nuclear	316

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

Fotografía 2.1a	Equipo para Prueba de Penetración al Asfalto	33
Fotografía 2.1b	Equipo para Prueba de Punto de Llama y gravedad teórica máxima	34

CAPITULO III CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Fotografía 3.1	Probetas de 2.5" x 4"	86
Fotografía 3.2	Equipo compactador y muestra en proceso de compactación	89
Fotografía 3.3	Probeta Marshall y pedestal de compactación	91

CAPITULO VI PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVOS

Fotografía 6.1	Riego de liga sobre pavimento existente	286
Fotografía 6.2	Coordinación entre la producción en planta y la colocación	287
Fotografía 6.3	Tendido y colocación de la mezcla	288

Fotografía 6.4	Extracción de núcleos para realizara ensayos Marshall	295
Fotografía 6.5	Proceso de compactación	307
Fotografía 6.6	Proceso de compactación	308

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPITULO IV EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES EXISTENTES

Gráfico 4.1	Funcionamiento del Pavimento Flexible de acuerdo a su edad	146
Gráfico 4.2a	Ciclo de vida de un Pavimento Flexible	146
Gráfico 4.2b	Evolución del deterioro de un Pavimento Flexible	147
Gráfico 4.3a	Espesores encontrados	178
Gráfico 4.3b	Distribución Granulométrica del material de la Subrasante	179
Gráfico 4.3c	Características Físicas del material de la Subrasante	179
Gráfico 4.4	Valores Típicos del CBR	182
Gráfico 4.5	Grafico de IRI vrs. Tiempo	186

CAPITULO VI PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

Gráfico 6.1	Porcentaje de Compactación vrs. Número de pasadas (Vibración Baja)	296
Gráfico 6.2	Porcentaje de Compactación vrs. Número de pasadas (Vibración Alta)	297

INTRODUCCIÓN

El presente documento es un esfuerzo con la finalidad de aportar ayuda técnica, en un área específica de la ingeniería civil, que versa sobre una técnica de rehabilitación de pavimentos conocida como Recarpeteo, específicamente con Mezclas Asfálticas en Caliente. Por no ser pretenciosos, este documento se planteó como una guía básica y por las limitaciones propias de un trabajo de graduación, no se pretende que sea una panacea, para el control de calidad, es solamente una guía básica, pues no se puede ocultar el hecho de que por más que se haya avanzado en conocimiento, tecnología, y técnica en la ingeniería civil, en la práctica siempre suceden casos de mal desempeño en las obras construidas, lo cual siempre obliga a discutir, sobre las posibles causas que propician tan desagradables sucesos. Las causas que influyen en esos casos son tan variadas y complejas, que siempre han sido motivo de investigación, y los puntos de vista utilizados para abordarlas, son igual de extensos. Sin embargo, aunque lo anterior parece ser muy complicado y desalentador, existe la ventaja que siempre hay variables controlables, relativamente cuantificables que permiten hacer aproximaciones válidas para estimar, diseñar y ejecutar tales obras; estas variables en la práctica, vienen a tener más peso que otras variables más subjetivas que al contrario de las anteriores, generan incertidumbre.

Por lo anteriormente expuesto, es que esta Guía Básica para el Control de Calidad en Recarpeteos con Mezclas Asfálticas en Caliente, tiene objetivos específicos que delimitan el alcance de este documento, y a la vez orientan el enfoque de esta investigación, esto se detalla claramente en el capítulo 1. Para facilitar la comprensión de este documento, y por ende proporcionarle mayor utilidad al contenido de esta investigación, se consideró necesario desarrollarlo en orden creciente, desde lo básico a lo complejo, tal como se describe a continuación:

Con el capítulo uno como punto de partida, el capítulo 2 es un marco teórico que define conceptos básicos, utilizados a lo largo de todo el documento. En este capítulo principalmente se describen las propiedades de los materiales componentes de la mezcla asfáltica y sus ensayos respectivos.

En el capítulo 3, se aborda la calidad de la mezcla asfáltica, definiendo conceptos básicos relacionados. Principalmente este capítulo describe 3 métodos de diseño de mezclas asfálticas en caliente que son: el método Marshall, el método Hveem y el método del SUPERPAVE

El capítulo 4 define conceptos básicos sobre la evaluación estructural y funcional de los pavimentos y una metodología de diseño de espesores de pavimento, a partir de dicha evaluación.

Conceptos básicos sobre la calidad, y documentos básicos del control de calidad sobre recarpeteos con mezcla asfáltica en caliente, fueron presentados en el capítulo 5.

Sobre el capítulo 6 cabe destacar, que trata sobre el proceso constructivo de recarpeteos con mezclas asfálticas en caliente. Esto es, desde la fabricación en planta, hasta el transporte, colocación y compactación en campo.

Para darle mayor veracidad a los capítulos descritos hasta aquí, se desarrolló el capítulo 7, en el cual se confrontan todos los conceptos de los capítulos anteriores contra los datos propios de un proyecto de recarpeteo real, ejecutado en El Salvador.

Finalmente en el capítulo 8 se hicieron conclusiones detalladas sobre toda la investigación realizada, en las cuales se evalúa honestamente sobre los logros obtenidos. En las recomendaciones aquí también incluidas, se plantearon ideas que pueden servir para cubrir deficiencias propias de esta investigación, ó como ideas independientes para desarrollar temas futuros de investigación.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

A partir de la década de los 90, nuestros gobiernos han destinado gran parte de sus recursos al desarrollo de la infraestructura vial, como estrategia de reconstrucción post-guerra; a partir de ahí se han implementado una serie de cambios en la forma en que se maneja el trabajo del área Vial, lo que ha provocado que se tenga una mayor visión de la manera en que deben resolverse los problemas y que se busque la solución adecuada para cada caso en particular; esto ha incluido trabajos de Aperturas, Mejoramientos y Mantenimientos en gran escala.

Para la realización de dichos trabajos se tiene la disposición de ejecutarlos en base a dos sistemas diferentes: Pavimentos Rígidos y Pavimentos Flexibles.

Entre los años 2001 y 2002 se llevaron a cabo varios proyectos de Recarpeteo en el país con un total aproximado de 179.20 Km. de los que se mencionan:

CA: 4, Tramo CA: 1-La Libertad-CA:1, Tramo Ceiba de Guadalupe -Santa Tecla, CA: 8, Sonsonate-Ahuachapán, San Martín-Suchitoto, Km. 18 -San Francisco Gotera, CA: 2, La Flecha-La Herradura, CA: 3, Tramo CA: 4-Chalatenango, Apopa-Nejapa.

Actualmente se esta realizando trabajos de Recarpeteos en la CA1 tramo de San Vicente en el cual, se ha aplicado Trabajos de Reciclado antes de colocar la nueva carpeta. Además en el Departamento de Ahuachapán se realizan trabajos

de Recarpeteo en las calles principales de la Ciudad con una longitud aproximada de 10 Km.

Se ha comprobado que al implementar el sistema de pavimentos flexibles, presentan el inconveniente que requieren de trabajos de mantenimiento a menor plazo que lo que se requiere con el sistema de pavimentos rígidos. Esto se da en gran parte por la naturaleza misma del sistema, es decir que al construir una estructura de pavimento con Asfalto, las propiedades, tanto físicas como químicas del material se manifiestan fuertemente en el producto terminado.

También se conoce que para mejorar y minimizar los problemas que presentan estas estructuras de pavimento, se debe contar con un adecuado control de todas las variables y procesos que estén involucradas en el trabajo.

A medida que las carreteras con sistema flexible, presentan diferentes problemas en su funcionamiento, se hace necesario que se evalúen los motivos por los cuales se están obteniendo carreteras, en las cuales se hace cada vez menor el tiempo en el que éstas necesitan de trabajos de rehabilitación.

Dentro de estos trabajos, está incluido el proceso llamado Recarpeteo con Mezcla Asfáltica en Caliente, el cual es motivo de nuestra investigación.

Todos los procesos que incluye el trabajo de Recarpeteo, deben contar con el adecuado Control de Calidad de todas sus variables, para evitar que

posteriormente el valor del proyecto se incrementa debido a las partidas destinadas al mantenimiento.

Debemos conocer cuáles son las partes que deben controlarse dentro del proceso, para que los esfuerzos por mejorar el producto sean fructíferos y obtener en este caso, una carpeta asfáltica en condiciones óptimas de funcionamiento, resistencia, comodidad, etc.

Para la reconstrucción de las carpetas asfálticas, las instituciones o empresas responsables han venido realizando esfuerzos continuos por alcanzar, además de técnicas más eficaces, un mejor nivel en su calidad.

Estas técnicas versan sobre cuatro aspectos generales:

- Los materiales componentes: separados o integrados.
- Los procedimientos de construcción: fabricación, puesta en obra, etc.
- Las características de los equipos y maquinaria empleada.
- Las características del producto terminado.

Por lo que podemos decir que la comprobación de la aplicación de las técnicas correctas, y de la obtención de un producto aceptable, se denomina tradicionalmente "*control*".

Es necesario indicar que a pesar de todos los esfuerzos realizados a la fecha, en muy poco se ha implementado un verdadero sistema de control de calidad que pueda servir como la herramienta oportuna, capaz de poder detectar problemas

y establecer las soluciones para éstos, lo que ocasiona inconvenientes tanto a los constructores, como al propietario de las obras.

La falta de un sistema eficiente y oportuno de control de calidad, durante la ejecución de un proyecto vial y en este caso en los Recarpeteos, traerá resultados no satisfactorios a todas las partes involucradas lo que a su vez aumentará el costo económico del proyecto

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para cualquier país, el contar con infraestructura adecuada, funcional y estratégica, es de vital importancia para facilitar el desarrollo del mismo.

El Salvador, como los demás países Centroamericanos, ha concentrado muchos de sus esfuerzos en mejorar la red vial de su territorio, esto es a base de implementar algunos métodos de rehabilitación, lo que se realiza con marcada frecuencia en el caso de pavimentos flexibles. Esto es consecuencia del hecho que la vida útil de los mismos es corta y además presentan a corto plazo, envejecimientos prematuros que hacen de las carreteras, vías con problemas funcionales tanto en comodidad para el tránsito vehicular, como a la estructura misma.

Para conocer sobre los motivos que originan este fenómeno, se debe realizar un recuento objetivo de todas las variables y procesos que estuvieron involucrados en la ejecución de un proyecto de carretera a fin de conocer si éstos fueron

llevados a cabo bajo todas las consideraciones iniciales de diseño y si no existieron fallas en una o varias de sus partes.

Las áreas que generalmente sufren descuidos por parte del ejecutor del proyecto son la elección del método a aplicar, estudio erróneo de las características de los materiales que se utilizarán, el tipo de asfalto, los procedimientos en los ensayos, tanto en campo como en laboratorio, proceso constructivo utilizado y además la elección en los equipos.

Sobre la base de este planteamiento, debe existir un documento que conjugue toda la información necesaria para que el control en la calidad en la ejecución de los recarpeteos sea bajo los seguimientos normativos adecuados, y esto se traduzca en obras viales más durables y construidas bajo estándares de calidad certificados.

Para resolver esta problemática, consideramos necesario, formular una Guía Básica para el control de la calidad en Recarpeteos con Mezclas asfálticas en Caliente.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo General

- Crear una Guía Básica que conjugue los procesos e información necesaria para ejercer un mejor control de calidad en el Recarpeteo de Pavimentos con Mezclas Asfálticas en Caliente.

Objetivos Específicos

- Identificar, enumerar y describir los parámetros utilizados para evaluar la Calidad en el Recarpeteo con Mezclas Asfálticas en Caliente.
- Identificar las características de calidad en todos los materiales involucrados en el proceso de recarpeteo.
- Proporcionar las diferentes especificaciones necesarias para el control de calidad en cada proceso constructivo, brindados por las diferentes normas con las que se trabaja el Recarpeteo en el país.
- Identificar los diferentes tipos de mezclas asfálticas en caliente, utilizadas para el Recarpeteo de Pavimentos Flexibles.
- Identificar y describir los Métodos de diseño para las mezclas asfálticas.
- Describir el procedimiento utilizado para conocer las condiciones físicas de deterioro del pavimento a Recarpetear.
- Identificar y describir los diferentes procesos constructivos usados para el Recarpeteo con Mezclas Asfálticas en Caliente
- Analizar los formatos de registro de datos del control de calidad y pruebas que actualmente se utilizan y recomendar una metodología para manejar la información.

- Evaluar con esta Guía Básica de Control de Calidad en pavimentos con mezclas asfálticas en caliente, un proyecto ejecutado, y discutir los aciertos y fallas realizadas en su realización.

1.4 ALCANCES

- Esta guía, incluye el análisis de calidad del proceso a desarrollarse desde la elección del tipo de materiales y mezcla, elaboración de la mezcla hasta la colocación del sello bituminoso sobre la superficie de rodamiento.
- Este trabajo aporta información sobre el control de calidad en el recarpeteo de pavimentos asfálticos en caliente, la cual podrá ser utilizada para la supervisión de proyectos en el recarpeteo de pavimentos en nuestro país.
- Se plantea una metodología unificada para el tratamiento de la información generada por parte de la supervisión y del constructor, en cuanto a calidad de materiales y procesos inmersos en el Recarpeteo.
- Se analizan y proponen formatos de las hojas de control para el registro de datos obtenidos en las diferentes etapas del proceso de recarpeteo.
- Se confrontará los parámetros de calidad de un proyecto ya realizado contra los seguimientos de esta Guía.

1.5 LIMITACIONES

- Esta investigación se ha realizado mediante la consulta bibliográfica, y de experiencias prácticas con profesionales entendidos en el área del control de calidad para Recarpeteos con mezclas asfálticas en caliente.
- No incluye la realización de pruebas de laboratorio.
- El acceso a la información de algunas entidades tanto gubernamentales como privadas ha restringido el alcance que se da a esta investigación.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Con el transcurrir de los años muchas de las vías de comunicación de nuestro país construidas con pavimentos flexibles se han ido deteriorando debido a varios motivos como: baja calidad en los materiales utilizados, diseño de mezcla inadecuado, incremento del tráfico en la vía, mala calidad de la capacidad técnica de la mano de obra, ausencia o deficiencia en la supervisión, falta de mantenimiento, etc., lo cual ha requerido que se efectúen trabajos de reparación que regularmente consisten en un simple bacheo hasta en un recarpeteo completo de la vía.

Por lo que se hace necesaria una guía que oriente acerca del recarpeteo en los pavimentos asfálticos en caliente, y que se ejecute de manera tal, que

proporcione mayor vida útil de la superficie de rodadura, respetando las consideraciones relacionadas con la calidad de los materiales, capacidad técnica de mano de obra y otros.

CAPÍTULO II
MARCO TEORICO

CAPÍTULO II. MARCOTEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

En nuestro país a partir del año de 1991, comenzó a modernizarse el aparato administrativo del Ministerio de Obras Publicas (simplificándose y modernizándose), e implementó una nueva modalidad en la administración de sus proyectos. Tal modalidad cambió el concepto tradicional existente de interrelaciones, que existía entre los entes directores involucrados en la ejecución de los proyectos (propietario, contratista, diseñador y supervisor), que creaba una saturación en la participación y toma de decisiones de la supervisión.

Debido a ésta y varias razones más, el Estado se ha visto en la necesidad de dejar en gran medida el trabajo de la construcción de carreteras a cargo de empresas privadas o instituciones creadas especialmente con la finalidad de ser ellas las responsables de construir y desarrollar el control de Calidad.

Nuestra investigación, enfoca al control de calidad en Recarpeteos con Mezclas Asfálticas en Caliente, como un estudio pionero, para mejorar las Técnicas que actualmente se utilizan en el área; además para enfatizar la necesidad de todas las empresas constructoras del área de Carreteras, a implementar los Controles de Calidad eficientes para obtener resultados de Calidad esperada.

2.2 PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD

Es indispensable conocer algunos términos y conceptos importantes, que harán comprender el porqué se hace necesario implementar un proceso y una metodología orientada a controlar y verificar la calidad, en cada una de las fases del Recarpeteo con Mezclas Asfálticas en Caliente y en todo trabajo de la construcción, en el que se busque obtener un producto de calidad.

Es de nuestro interés utilizar definiciones puntuales y hasta cierto punto: simples, para no perder de vista los objetivos planteados en el presente documento.

Los pavimentos pueden clasificarse en rígidos o flexibles. Generalmente el diseñador se decide por implementar el sistema Flexible debido a que presenta algunas ventajas sobre el sistema rígido como:

- Bajo costo inicial
- No requiere de juntas por lo que es más cómodo el tránsito por la carretera
- Puede ser reciclado, etc.

Por lo que es el más utilizado en nuestro medio y como se ha mencionado anteriormente, por la naturaleza misma de éste, siempre ha sido objeto de estudio las técnicas de mantenimiento para mejorar su estado físico, estructural y funcional a lo largo de toda su vida útil.

2.2.1 CONCEPTOS Y GENERALIDADES

2.2.1.1 Pavimento

Es la estructura generalmente integrada por la sub-base, base y carpeta de rodadura, construida sobre una terrecería debidamente compactada, para poder soportar las cargas de tránsito de acuerdo al diseño, pero al mismo tiempo, deben resistir las abrasiones y los punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos y la compresión de los elementos que se apoyan en él.

2.2.1.2 Pavimento Flexible

Es una estructura que soporta las cargas debidas al tránsito y las distribuye a la sub-rasante; su estabilidad depende de las características de los materiales y de los espesores de las capas que lo constituyen.

2.2.1.3 Estructura Básica del Pavimento

El pavimento flexible estructuralmente esta conformado por los siguientes elementos (ver figura 2.1):

- **Base:** Es una capa de material que puede ser granular la cual esta conformada por piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; también puede ser una base estabilizada la que esta construida con cemento Pórtland, cal o materiales bituminosos. Estas deben

tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella y transmitir a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una sub.-base o una sub-rasante.

- **Sub-base:** Capa de material cuya función es transmitir los esfuerzos a la capa sub-rasante de manera adecuada y además constituir una transmisión entre los materiales de la sub-base y la sub-rasante, de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales, disminuir efectos perjudiciales en el pavimento ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación, reducir el costo de pavimento ya que es una capa que por estar bajo la base queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuales pueden satisfacerse con materiales de menor costo generalmente encontrados en la zona.
- **Capa de rodadura:** Es una capa o un conjunto de capas que se colocan sobre la base y esta constituida por material pétreo mezclado con algún producto asfáltico (cemento asfáltico, asfalto líquido, emulsión asfáltica). La función principal de la carpeta, consiste en

proporcionar al tránsito una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada.

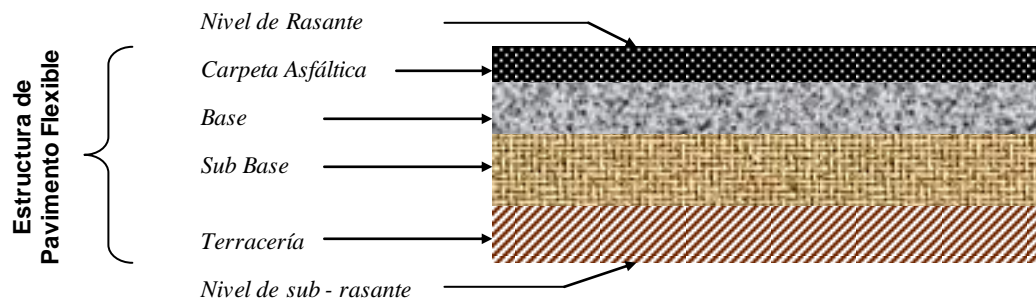


Figura 2.1. Estructura Básica de los Pavimentos Asfálticos

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, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes:

- a) Un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada
- b) Deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de Desgaste los Ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.
- c) La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, no debe usarse material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad, alterando la granulometría y puede provocar fallas en la carpeta, se

efectúan pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

- d) La superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por la carga de tránsito.

Cuando la carpeta se construye con espesores mayores o iguales a 2.5 cm., se considera que contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.

Debido a que ésta es la parte que está mayormente expuesta al intemperismo y a la interacción directa con el tráfico, es la que se ve dañada más severamente y por lo que usualmente necesita con mayor frecuencia un cuidado especial y que generalmente cubren las distintas clases de mantenimiento.

2.2.1.4 Mantenimiento de Pavimentos Flexibles

El mantenimiento de pavimentos podría definirse como: la función de preservar, reparar y restaurar una vía y conservarla en condiciones de uso seguro, conveniente y económico.

El mantenimiento es la preservación y cuidado de los derechos de vía y de cualquier tipo de pavimento, estructura, dispositivo de seguridad, de ornato, de iluminación y de cualquier otra facilidad vial, de tal forma que ésta conserve las

características geométricas y estructurales especificadas en el diseño y construcción original.

También las labores especiales o de emergencia requeridas por accidentes, tormentas, derrumbes u otras condiciones no usuales o imprevistas, se consideran como trabajos de mantenimiento.

Los programas de mantenimiento están diseñados para compensar los efectos del clima, crecimientos orgánicos, desgaste y daños provocados por el tránsito, así como al deterioro debido a los efectos de envejecimiento, fallas de los materiales, construcción y diseño. A pesar de los esfuerzos que se hagan para lograr un buen mantenimiento rutinario, llega un momento en el cual se requiere de una intervención mayor como el Recarpeteo.

Las técnicas aplicadas para el mantenimiento de los pavimentos de concreto asfáltico, dependen del tipo de falla en la superficie de rodamiento y/o sus capas inferiores. Estas se deben tomar en cuenta y estar basadas en las causas que generan las fallas para que sea efectiva la aplicación y lograr un mantenimiento adecuado.

La clasificación del mantenimiento puede hacerse de acuerdo a:

- Tipo
- Frecuencia
- Grado de deterioro

De acuerdo al tipo se clasifican en:

- 1. Mantenimiento Correctivo:** corrige las deficiencias que se presentan en la estructura del pavimento después que ha ocurrido un deterioro.
- 2. Mantenimiento Preventivo:** se anticipa al deterioro de las características estructurales del camino. Se inicia en la etapa del diseño y establece normas de construcción adaptadas a la topografía y geología natural, resolviendo los problemas de drenaje y especificando materiales con sistemas de trabajo que aseguren la calidad de la obra.

De acuerdo a la frecuencia con la que cada operación o actividad debe realizarse en un período de tiempo dado, el mantenimiento se clasifica en:

- a) Mantenimiento Normal:** este permite realizar trabajos para preservar los propósitos de construcción de la carretera. Dentro de este se encuentran:
 - **Mantenimiento Rutinario:** actividades realizadas con intervalos de un año o menos. Estas operaciones son esencialmente correctivas y se dividen en:
 - Operaciones Constantes de Mantenimiento: Varían muy poco con los volúmenes de tránsito que sirve la carretera.
 - Operaciones Variables de Mantenimiento: Estas operaciones están determinadas por los volúmenes de tránsito, que la carretera sirve y

generalmente consisten en reparación de pavimentos y superficie de rodadura de hombros.

Entre las técnicas de mantenimiento rutinario se encuentran:

- **Bacheos:** Son reparaciones a mano de pequeñas áreas dañadas que tienen el propósito de reponer una superficie de rodadura lisa, impermeable y con su debido soporte estructural.
 - **Sellos de grietas:** Con esta técnica se evita la entrada de agua superficial y otro material extraño que pueda contaminar o dañar la estructura del pavimento.
 - **Limpiezas:** mantiene el drenaje de las carreteras funcionando eficientemente, con el propósito que el agua fluya libremente en canales, cunetas, alcantarillas, bordillos, bóvedas, cajas, etc.
 - **Reparaciones de diferente índole:** Conserva en buenas condiciones los diferentes elementos que constituyen el pavimento como: cunetas, cabezales, hombros.
- **Mantenimiento Periódico:** Consiste en actividades normales de mantenimiento, realizadas a intervalos mayores de un año; estas operaciones son tanto correctivas como preventivas.

Las técnicas que se aplican periódicamente son:

- **Sellos:** Evitan la entrada de agua y otros materiales ajenos en las grietas superficiales.
- **Recarpeteos:** Es una técnica que consiste en la colocación de una nueva capa de rodadura sobre la estructura del pavimento, a fin de devolverle condiciones similares al diseño original de la carretera; es decir, propiedades que permitan resistir las cargas de tráfico, de impermeabilidad, resistencia al intemperismo y otras que se necesitan para que una vía, funcione apropiadamente.

Esta técnica busca reforzar la estructura de la carpeta de rodadura, prolongar su vida útil y brindar una superficie lisa y cómoda al tránsito por la misma.

Esta Técnica es aplicable a mezclas en frío y en Caliente (siendo nuestro interés el estudio de estas últimas).

- **Reposiciones:** buscan mejorar la superficie y el valor de soporte de la capa de rodadura además de recuperar la rasante y sección original de la carretera.
- **Reconstrucciones:** permite a los distintos elementos de la carretera que se conserven en buenas condiciones y evita daños posteriores.
- **Aplicación de Pintura:** Provee a la carretera de una mejor señalización a la carretera y brinda a sus elementos estructurales una adecuada protección.

- **Obras de Prevención, etc.**

b) Mantenimiento de Emergencia: Es esencialmente de tipo correctivo el cual efectúa todo tipo de reparaciones en la carretera debido a fuerzas mayores, a un mal diseño o a construcciones deficientes. Comprende operaciones de remoción de derrumbes, reparación por daños causados por socavación de la carretera o por sismos, reparación de rellenos asentados, puentes destruidos por crecidas y demás actividades que sean urgentes para mantener la seguridad y servicio en la vía.

2.2.1.5 Consideraciones Adicionales en Recarpeteos

El pavimento asfáltico adecuadamente diseñado y construido, debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada para permitir el tránsito de las cargas de diseño, y debe requerir únicamente un mantenimiento rutinario para alcanzar su período de diseño satisfactoriamente.

Idealmente se considera como el mantenimiento de un pavimento asfáltico, el trabajo desarrollado para lograr que éste, bajo las condiciones normales de tráfico y las fuerzas naturales, se mantenga funcionando lo más cerca posible a las condiciones iniciales de construcción.

Es conveniente hacer un estudio completo de las condiciones de la carpeta asfáltica existente, y de los factores relacionados antes de iniciar un proyecto de recarpeteo, teniendo entre los factores más importantes los siguientes:

- Datos del pavimento
- Condiciones físicas existentes
- Características del tránsito actual
- Relación del diseño con la seguridad y la operación suficiente del tránsito esperado.

Puede ser que las medidas correctivas que le sugieran en la preparación para el recarpeteo de una vieja superficie sean de alcance considerable o un poco menor, dependiendo del tipo y condición de la carpeta actual y de su capacidad para cumplir con su nueva función como capa base, a continuación se mencionan algunas medidas:

La vieja carpeta, sin tomar en consideración su tipo, puede ser desigual, con ondas y protuberancias que sean considerables en magnitud como para que no se puedan compensar con una más o menos delgada. Estas se pueden quitar escarificando y recompactando ciertos tipos de carpetas. Cuando las carpetas asfálticas ya son viejas, tienen defectos de protuberancias y se puede hacer que estas desaparezcan cortando en una forma continua la vieja carpeta, suavizándola con un calentador (quemadores).

En ocasiones puede ser mas conveniente corregir las irregularidades existentes en la carpeta mediante la construcción de una capa niveladora especial, la cual puede estar formada por la misma mezcla bituminosa utilizada en la construcción original o puede ser una mezcla nueva. La capa deberá tener un espesor variable y será construida a la sección y nivel deseados, teniendo un contenido mas bajo que el de la carpeta.

Además, antes del recarpeteo deberá también corregirse baches y depresiones que se encuentran en la carpeta, utilizando una mezcla igual a la que se utilizó en la construcción original o una mezcla igual para bacheo.

En muchos casos la preparación de la superficie puede consistir simplemente, en levantar el material suelto que se encuentra sobre la superficie, utilizando barredoras giratorias, compresores (de aire comprimido). Si después de este tratamiento todavía se tienen áreas no consolidadas en exceso, a estas deberá dárseles un tratamiento antes que la construcción pueda seguir su curso.

Por lo general la nueva carpeta se construye con tratamientos superficiales múltiples y mezclas asfálticas tendidas en caliente (concreto asfáltico).

2.2.1.6 Calidad

La Calidad es el conjunto de acciones que nos permiten mantener las características preestablecidas de un producto.

La calidad de cualquier obra depende de muchos factores como:

- El cumplimiento de las especificaciones
- Elección correcta de los materiales
- Procedimientos constructivos adecuados
- Calidad de la mano de obra
- Utilización de maquinaria idónea
- Un plan de control de calidad adecuado

Si se evalúa oportunamente la calidad de todos los procesos, esto permite que al momento de ejecutar un proyecto, se pueda tomar acciones de corrección y dar soluciones precisas a problemas o errores cometidos durante la construcción del recarpeteo; o de cualquier otro proceso constructivo.

Pero no basta con sólo conocer el término de calidad, sino saber cómo es que se controlará, por lo que se necesita un proceso y una planeación de lo que será el Control de Calidad, y esto comprenderá todo el conjunto de procedimientos que permitan conseguir un producto con características uniformes y de acuerdo a un diseño preestablecido.

De acuerdo a lo anterior, es necesario saber que en nuestro medio, ya se utilizan dos conceptos también utilizados internacionalmente los cuales necesitamos definir, ya que son fundamentales para entender con un enfoque moderno nuestra tesis. Estos son:

- Control de calidad (conocido por sus siglas inglesas Q.C. que significan Quality Control)

- Verificación ó aseguramiento de calidad (conocido por sus siglas inglesas Q. A. que significan Quality Assurance)

Obtener obras de calidad, requiere el empleo de técnicas apropiadas de QC/QA.

2.2.1.7 Control de Calidad y Aseguramiento de la Calidad (QC/QA)

El Control de Calidad normalmente se refiere a los ensayos necesarios para controlar un producto y así determinar la calidad del producto que se está elaborando.

Estos ensayos son usualmente llevados a cabo por el constructor, ya que este los requiere para asegurarse a sí mismo que el producto o sus partes cumplan con sus expectativas de acuerdo a la responsabilidad contractual que ha contraído con el propietario.

El Aseguramiento de calidad por otra parte (QA), se refiere normalmente a aquellos ensayos requeridos para tomar una decisión sobre la aceptación de un producto, y por lo tanto asegurarse que el mismo está siendo evaluado efectivamente de acuerdo a lo que el propietario ha requerido.

En El Salvador, esta actividad ha sido ejecutada tradicionalmente por la empresa supervisora.

Para que el QC del contratista y el QA del supervisor del propietario, puedan interactuar adecuadamente, deben existir una serie de elementos que fijen las reglas del juego, que definan de manera coherente los límites de acción de cada

uno de los actores involucrados, a esta serie de elementos se les define en la práctica como: Sistema de Control de Calidad, el cual se explica a continuación.

2.2.1.8 Sistema del Control de Calidad (QSC)

Consiste en aplicar una serie de procesos, responsabilidades, autoridades, procedimientos y recursos relacionados internamente, completamente definidos y desplegados en forma coherente para lograr cumplir con las exigencias de calidad de obra, especificadas en los términos contractuales. El QSC, lo conforman todos los documentos contractuales, como los son:

- Adjudicación de la licitación
- Especificaciones técnicas
- Documentos de Aprobación de Requisitos Contractuales
- Plan de control de Calidad, etc.

También se habla del sistema de control de calidad del contratista, que se refiere a toda la logística y capacidad administrativa y técnica del contratista, para llevar a cabo un autocontrol de calidad adecuado. Este sistema de control del contratista, es respaldado por un Plan de Control de Calidad como requisito obligatorio, a ser presentado al contratante (propietario) y su supervisión, el cual como tal, pasa a ser un elemento más del sistema de control de calidad. A continuación se explica más sobre el dicho Plan de Control.

2.2.1.9 Plan de Control de Calidad (QCP)

Es una descripción detallada propuesta por el contratista, del tipo y frecuencia de la inspección, muestreos y ensayo, considerada como necesaria para medir y auto controlar las diferentes características establecidas en las especificaciones de un contrato para cada ítem de trabajo. Prácticamente es un manual de operaciones del contratista.

2.2.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Es el vocablo general aplicado a todas las normativas, disposiciones y requisitos, relativos a la ejecución de la obra. Proveen de un lenguaje común, preciso, y libre de ambigüedades que regula y facilita las interrelaciones que se darán entre las personas involucradas en el proyecto.

Las especificaciones técnicas a su vez recurren a normas ya desarrolladas internacionalmente (Ej. ASTM, AASHTO o FP'S, etc.), que conforman un estándar de terminologías, ensayos, patrones, etc. que facilitan y hacen útil la experiencia ingenieril en el intercambio de conocimientos tecnológicos a nivel internacional, así como la facilitación de licitaciones internacionales, enmarcadas en la globalización comercial. Las especificaciones técnicas están incluidas y juegan un papel importante en los documentos de licitación y contratación del contratante (propietario).

En nuestro país y en Centroamérica se crearon especificaciones técnicas de carácter regional conocidas como S.I.E.C.A. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana), estas han sido el resultado de esfuerzos de integración logrados a través de los últimos años, y por convenio pretenden ser obligatorias para todos los países miembros. Estas especificaciones están clasificadas en:

- **Generales:** Contiene las actividades aplicadas a obras de Mantenimiento en todos los países centroamericanos y
- **Particulares:** modifican las especificaciones generales para adecuarlas a las condiciones prevalecientes en los contratos específicos de mantenimiento vial, en cada país centroamericano.

Debido a eso es que las especificaciones técnicas que interesan a nuestro documento, parten de las especificaciones generales desarrolladas en la S.I.E.C.A. para el mantenimiento vial, las cuales pueden encontrarse en detalle en el **"Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras"**.

De las especificaciones técnicas relativas al recarpeteo con mezclas asfálticas en caliente contenidas en el documento del S.I.E.C.A, se retoman lo siguiente:

"Las especificaciones para el mantenimiento vial difieren de las de construcción, en el sentido de que no es siempre posible garantizar calidad en el mantenimiento especificándose únicamente los resultados de ensayos".

La calidad de mantenimiento depende en gran parte de los procedimientos utilizados durante la ejecución de los trabajos. Por eso, las especificaciones de mantenimiento indican los procedimientos a seguir.

La necesidad de mantenimiento puede reducirse mediante la aplicación de normas de diseño enfocadas a reducir y/o facilitar la necesidad de mantenimiento.

2.2.3 PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas de laboratorio en la ingeniería civil, son determinantes pues conforman la interfase que debe haber entre el diseño (nivel conceptual) y la construcción (nivel práctico). Entonces, el estudio de los materiales, técnicas y procesos en la edificación de pavimentos flexibles, siempre deben estar regidos por las Normas y Especificaciones Técnicas precisas del proyecto en ejecución. Para conocer las características físicas de los agregados que se pretendan emplear en la elaboración de carpetas asfálticas, es necesario llevarles a cabo pruebas de laboratorio con las cuales podamos de forma precisa, conocer valores reales de las condiciones físicas y químicas de todos los agregados a utilizar en el proceso de recarpeteo. Con estos resultados, se podrá realizar un diseño eficiente de la carpeta asfáltica a colocar en la vía.

Ya que el presente documento versa específicamente sobre el recarpeteo de pavimentos con mezclas asfálticas en caliente, a continuación se mencionarán

las pruebas de laboratorio que en nuestro medio se realizan para el control de agregados y cemento asfáltico, que son los dos elementos básicos que conforman dichas mezclas (ver tabla N° 2.1):

Los rangos aceptables para las pruebas para agregados, se encuentran sintetizados en la tabla N° 2.2 (tablas análogas para el asfalto se encuentran en la sección 2.3.1)

Tabla N° 2.1. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MATERIALES DE MEZCLA		
Ensayo de laboratorio para AGREGADOS	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano qué clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	EL objeto es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando éstos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor de 0.5%.
Equivalente de Arena	AASHTO T 176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubicidad de Partículas	L N V 3-86 ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.

Tabla N° 2.1.

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MATERIALES DE MEZCLA

Gravedad específica y absorción del agregados gruesos y finos	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C – 127 ASTM C – 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un período largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso Unitario y Vacío	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Proctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.
Ensayo de laboratorio para ASFALTOS	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO 201. ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo. Este ensayo se usa para clasificar los Cementos Asfálticos a Viscosidad 60°. Mide la consistencia de los Cementos Asfálticos
Penetración,	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en décimas de milímetros. Valores altos de penetración, indicarán consistencias suaves.
Punto de Inflamación	AASHTO T 48 ASTM D 92	Tiene por propósito, identificar la temperatura a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta Cleveland.
Ductilidad	AASHTO T 51 ASTM D 113	Provee de una medida del las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada.
Punto de reblandecimiento	AASHTO T 53 ASTM D 36	La temperatura determinada como de Reblandecimiento, representa aquella a la cual un cemento asfáltico alcanzará un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de consistencia del mismo. El punto de reblandecimiento es una prueba de resistencia a la deformación del cemento asfáltico y además es también una prueba de la viscosidad.

Tabla N° 2.1.

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA MATERIALES DE MEZCLA

Ensayo de flotación	AASHTO T 50 ASTM D 139	Esta prueba caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de penetración. Este ensayo es utilizado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.
Solubilidad en Tricloroetileno	AASHTO T 44 ASTM D 2042	Este ensayo indica la porción de constituyentes cementantes activos en el asfalto ensayado es decir se utiliza para medir la pureza del asfalto. En esta prueba las sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos, se consideran impurezas.
Peso específico	AASHTO T 228 AASHTO T 85 AASHTO T 84	El peso específico de un cemento asfáltico no se indica normalmente en las especificaciones de la obra pero existen dos razones por las cuales se debe conocer su valor y son: <ul style="list-style-type: none"> Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura – volumen. Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado. se determina normalmente por el método del picnómetro.
Endurecimiento y envejecimiento	AASHTO T 51 ASTM D 113	Tiene por propósito exponer una o varias muestras a condiciones similares ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente.

Tabla N° 2.2

VALORES ACEPTABLES PARA ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS

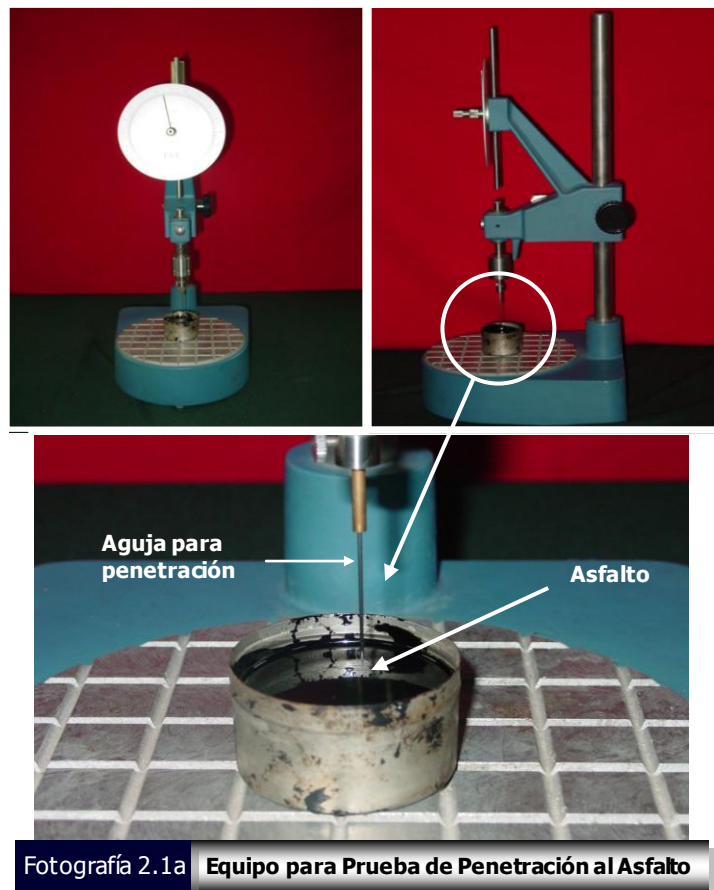
Ensayo de laboratorio para AGREGADOS	Norma	Rango de Valores Aceptables en calidad
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	Según tabla N° 2.3
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	40% máximo
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	12% máximo
Equivalente de Arena (finos)	AASHTO T 176 ASTM D 2419	45 mínimo - 1.0% máximo
Caras fracturadas, Cubicidad de Partículas	L N V 3-86 ASTM D 692 FLH T 507	75% mínimo
Índice de durabilidad, Peso Unitario y Vacío	AASHTO T210 T 19 ASTM C 29M	35% mínimo (gruesos) 45% mínimo (finos)

Todas estas pruebas se desarrollaron para poderse desarrollar también en campo, siempre y cuando se cuente con un laboratorio en el campo de trabajo,

que esté lo suficientemente capacitado para dar cobertura a todo el proceso constructivo (Ver fotografías 2.1a y 2.1b).

Las pruebas en campo son vitales, pues son las que monitorean continuamente todo lo que se está haciendo en la práctica, a la hora de ejecutar un proyecto.

Un Laboratorio de Campo para el Control de Calidad, es la instancia encargada de realizar los ensayos de laboratorio y de campo necesarios, con el propósito de proporcionar resultados que sirvan de apoyo a la Residencia del Proyecto, durante la evaluación de la calidad de los materiales y de las obras parciales o totales ejecutadas con los mismos.





Fotografía 2.1b **Equipo para Prueba de Punto de llama y gravedad teórica máxima**

En la práctica surgen situaciones anormales en lo relativo a la obra ejecutada en un momento determinado, las cuales requieren de una inmediata atención del responsable o los responsables directos de lo ejecutado. En estos casos, si es el Laboratorio quien detectó tal situación, deberá comunicar inmediatamente de lo sucedido, al Ingeniero Residente. En estas situaciones juegan un papel muy importante, aspectos como la experiencia para poder proponer soluciones que resuelvan el problema de una manera inmediata y segura.

La uniformidad en los trabajos de Recarpeteo con Mezclas Asfálticas en Caliente son esenciales para poder obtener una carpeta con todas las especificaciones técnicas y de calidad para las que fue diseñada.

2.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Ya que una mezcla asfáltica está formada por dos elementos básicos que son: los agregados y el cemento asfáltico, para desarrollar y entender fácilmente el tema del Control de Calidad, se procede a retomar conceptos fundamentales de cada uno de esos elementos de una manera desglosada.

2.3.1 ASFALTOS

Las propiedades físicas del asfalto de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

- a) Durabilidad
- b) Adhesión y Cohesión
- c) Susceptibilidad a la temperatura
- d) Envejecimiento y Endurecimiento

2.3.1.1 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 de agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto. Existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. Estas son:

- Prueba de Película Delgada en Horno (TFO)
- Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO)

Ambas incluyen el calentamiento de películas delgadas de asfalto.

2.3.1.2 Adhesión y Cohesión

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

El ensayo relacionado con esta propiedad es la ductilidad aunque este no mide directamente la adhesión o la cohesión, mas bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunos como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo "califica - no califica" y solamente indica si la muestra es, o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos los que se mencionaran más adelante.

2.3.1.3 Susceptibilidad a la Temperatura

Normas: AASHTO T- 201, ASTM D- 2170, AASHTO T-49 Y ASTM D-5

Los asfaltos tienen las características de volverse más duros a medida que disminuye su temperatura, y más blandos si su temperatura aumenta. Esta característica se denomina: susceptibilidad a la temperatura la cual es una propiedad muy valiosa para los asfaltos; por eso se denominan Termoplásticos.

La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

La susceptibilidad a la temperatura, se mide a través de medir la Viscosidad (el ensayo a la Penetración) y esta medición varía en relación a la temperatura del asfalto y del tipo de asfalto: así un asfalto si es duro se dice que es más viscoso y por el contrario si es más blando se dice que el asfalto es menos viscoso.

Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues 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.

Es importante mencionar que el asfalto debe tener fluidez a altas temperaturas para que se pueda cubrir las partículas de agregados durante el mezclado para todos los procesos de pavimentación incluyendo el recarpeteo. Y también se necesita que después se vuelva lo suficientemente viscoso para mantener unidas las partículas de agregados.

2.3.1.4 Endurecimiento y Envejecimiento

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción y en el pavimento terminado.

Esto es causado principalmente por el proceso de oxidación en el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas como las de la construcción.

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras esta revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado.

Existen algunas pruebas para determinar las propiedades de cemento asfáltico: estas son: *viscosidad, penetración, punto de inflamación, endurecimiento, durabilidad, solubilidad y peso específico* (Ver tabla N° 2.1).

Los cementos asfálticos utilizados en los trabajos de Recarpeteo al igual que los demás trabajos con Mezclas asfálticas en Caliente, se clasifican bajo tres sistemas diferentes: Viscosidad, Viscosidad después del envejecimiento y Penetración. El más utilizado es el que se basa en la viscosidad (Ver tabla N° 2.3).

En este sistema de viscosidad, el poise es la unidad normal de medida para la viscosidad absoluta. Cuanto más alto es el número de poises, más viscoso es el asfalto.

Entre las principales pruebas para determinar las propiedades físicas de los cementos asfálticos tenemos.

- **Peso Específico.** Este ensaye se efectúa para ubicar las correlaciones necesarias de peso a volumen, varía con la temperatura, o al adicionarle algún otro material; regularmente el asfalto presenta una densidad mayor que el agua.
- **Solubilidad Tricloroetileno.** Este método sirve para detectar impurezas o materiales extraños que presente el asfalto, o bien algún elemento que no sea soluble al asfalto.
- **Punto de Inflamación.** Es una prueba de seguridad que se realiza para conocer a que temperatura provoca flama el material asfáltico.
- **Punto de Reblandecimiento.** Por el método del anillo y la esfera, nos proporciona una medida a la resistencia del material al cambio de sus propiedades de acuerdo a su temperatura.
- **Penetración a 25° C.** Con esta prueba se determina la dureza que presentan los diferentes tipos de asfalto; de acuerdo a la dureza nos indica de que tipo de cemento se trata.
- **Ductilidad a 25° C.** Mide al alargamiento que presenta el asfalto sin romperse, la longitud del hilo de material se mide cuando se corta en cm., este ensaye además de indicarnos el tipo de asfalto nos da la edad

del mismo; ya que si se rompe a valores menores a los establecidos nos indica que es un asfalto viejo y que ha perdido sus características, por consecuencia puede provocar grietas en la carpeta "cemento asfáltico crackeado" (viejo.)

- **Viscosidad Saybol Furol.** Nos ayuda a conocer la temperatura en la cual el asfalto es de fácil manejo. En esta prueba se mide el tiempo que tardan en pasar 60 cm^3 de asfalto por un orificio de diámetro aproximadamente igual a 1 mm, este ensaye se efectúa a temperaturas que van de los 60 a los 135° C dependiendo del tipo de asfalto de que se trate.
- **Viscosidad Absoluta a 60° C .** Con esta prueba se clasifica el cemento. Consiste en hacer pasar hacia arriba el asfalto dentro de un tubo capilar bajo condiciones controladas de vacío y temperatura, el resultado se calcula de acuerdo al tiempo que tarda en pasar el asfalto de un punto a otro dentro del tubo, este tiempo se multiplica por una constante del equipo usado y la unidad que se maneja es el "poise" que es una fuerza de $1\text{g}/\text{cm}^2$ y de acuerdo con la viscosidad que presente se clasifican los asfaltos.
- **Viscosidad Cinemática a 135° C .** Con esta prueba se mide el tiempo en que un volumen de asfalto fluye a través de un viscosímetro capilar, de un orificio determinado. El tiempo se multiplica por un factor de

calibración del viscosímetro, la unidad que emplea es el "centistokes". Esta unidad se basa en las relaciones de densidad de un líquido a la temperatura de prueba representada en 1g/cm^3 .

- **Pérdida por Calentamiento.** También llamada prueba de película delgada; esta prueba estima el endurecimiento que sufren los asfaltos después de calentarse a temperaturas extremas (163°C) además nos determina los cambios que sufre el material durante el transporte, almacenamiento, calentamiento, elaboración y tendido de mezcla. Se efectúa en películas de pequeño espesor que se someten a los efectos del calor y el aire, con ellos se evalúa el endurecimiento que presenta y la pérdida de sus propiedades; después de efectuado este ensayo se efectúan pruebas de viscosidad, ductilidad, penetración y pérdida de peso.

Tabla N° 2.3. **REQUISITOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR VISCOSIDAD A 60 °C(AASHTO M 226)**

PRUEBA	Grado de Viscosidad					
	AC-2.5	AC-5	AC- 10	AC- 20	AC- 30	AC- 40
Viscosidad, 60° C, poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viscosidad, 135 °C, Cs- mínimo	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100g. 5s- mín.	220	140	80	60	50	40
Punto de llama, Cleveland, °C -mín.	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)	232(450)
Solubilidad en Tricloroetileno, % mín.	99	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO:						
Pérdida por calentamiento,% máximo (opcional) ¹		1	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 60 °C, poises- máximo	100	200	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm.-mínimo	100 ²	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y cómo se especifique) ³	Negativa para todos los grados					
Solvente normal de nafta						
Solvente de nafta-xileno, % xileno						
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativa para todos los grados					

(1) El uso del requisito de pérdida por calentamiento es opcional.

(2) Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor/mínimo de 100.

(3) El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente usado cuando se va a utilizar la prueba, en el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el % de xileno a ser usado

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N°. 22 (MS-22) Figura 2.3, Sección 2.3.B.1

En la clasificación de acuerdo a su viscosidad después de envejecido, se identifican las características de viscosidad después que se ha colocado la carpeta del pavimento. Para poder simular el envejecimiento, el asfalto debe ser ensayado en el Laboratorio utilizando un patrón de envejecimiento.

La unidad normal es también el Poise, ver tabla N° 2.4.

Tabla N° 2.4. REQUISITOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADOS POR VISCOSIDAD A 60 °C (Basada en el residuo del ensayo de RTFO) (AASHTO M 226)

PRUEBAS SEGÚN AASHTO T -240	Grado de Viscosidad				
	AR ² -10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosidad, 60° C, poises	1000±250	2000±500	4000±1000	8000±2000	16000±4000
Viscosidad, 135 °C, Cs- mínimo	140	200	275	400	550
Penetración, 25°C, 100g. 5s- mín.	65	40	25	20	20
% de Penetración. original, 25°C-mín.	....	40	45	50	52
Ductilidad, 25°C, 5 cm/ min, cm-mín	100 ²	100 ²	75	50	52
Pruebas sobre el asfalto original:					
Punto de llama. Cleveland °C mínimo	205(400)	219(425)	227(440)	232(450)	238(460)
Solubilidad en tricloroetileno % mín	99	99	99	99	99

(1) La abreviación AR corresponde a "Residuo envejecido"

(2) Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor/mínimo de 100.

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22 (MS-22), Instituto del Asfalto. Figura 2.4, Sección 2.3.B.1

El tercer método usado para clasificar los asfaltos es el de penetración, su unidad es la décima de milímetro (Ver figura N° 2.2).

El que se ve reflejado en la tabla N° 2.5.

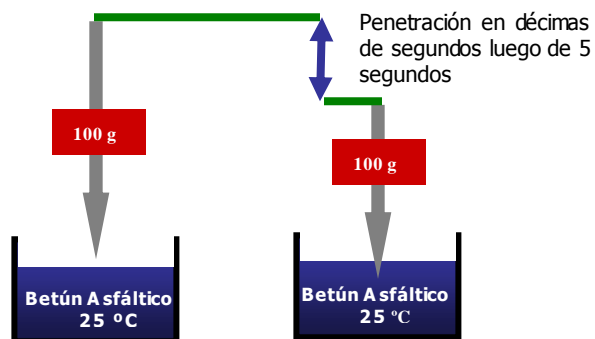


Figura N° 2.2

Ensayo de Penetración

Tabla N° 2.5. REQUISITOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60 °C (AASHTO M 20)

Prueba	Grado de Penetración									
	Mástic para sellado de juntas de concreto		Concreto asfáltico				Tratamientos superficiales			
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración a 25°C (77 °F) 100 g. 5 s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Llama. Ensayo Cleveland °C	450	....	450	....	450	....	425	....	350	....
Ductilidad a 25°C (77 °F) 5cm/min. cm	100	....	100	....	100	....	100	....	....	....
Solubilidad en Tricloroetileno %	99	....	99	....	99	....	99	....	99	....
Perdida por calentamiento %	....	0.8	....	0.8	....	1.0	....	1.3	....	1.5
Penetración del residuo, % del original	58	....	54	....	50	....	46	....	40	....
Ductilidad del residuo a 25°C. 5 cm/min. cm	....	....	50	....	75	....	100	....	100	....
Prueba de mancha (cuando y cómo se especifique) Solvente normal de nafta Solvente de nafta-xileno, % xileno Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados Negativa para todos los grados									

El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente usado cuando se va a utilizar la prueba, en el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el % de xileno a ser usado.

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, Serie de Manuales N°. 22 (MS-22), Instituto del Asfalto. Figura 2.6, Sección 2.3.B.1

2.3.2 AGREGADOS PARA LA MEZCLA

Agregado es cualquier material duro e inerte, usado en forma de partículas graduadas o fragmentos. Los agregados de acuerdo a su origen pueden clasificarse en:

Agregados naturales. Estos son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o con ningún procesamiento. Están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación. Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35 mm (1/4"). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6.35 mm (1/4") pero mayor que 0.075 mm (Nº 200). Las partículas de un tamaño menor que 0.075 mm (Nº 200) son conocidas como relleno mineral, el cual consiste principalmente en limo y arcilla.

Agregados procesados. Son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Esto se hace debido a tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, para mejorar la distribución de los tamaños de las partículas (graduación).

Agregados sintéticos. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales.

Estos agregados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia alta al desgaste.

En la carpeta compactada, los agregados pétreos constituyen entre el 90 y el 95 por ciento en peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen. La capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, por lo que la selección adecuada y el buen manejo de estos materiales contribuyen en la construcción de un pavimento asfáltico de buena calidad. Para ello, las características de los materiales pétreos deben cumplir con las especificaciones, las cuales están relacionadas principalmente a su granulometría y a las características intrínsecas del material.

Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad.

Estas propiedades son:

- Graduación y Tamaño Máximo
- Limpieza
- Dureza
- Forma de la Partícula
- Textura Superficial
- Capacidad de Absorción
- Afinidad con el Asfalto
- Peso Específico

Para certificar el uso de determinado agregado en un proyecto, es necesario conocer sus fuentes de origen e investigar las características de los materiales producidos.

Las especificaciones para la construcción de pavimentos y recarpeteos con mezcla asfáltica en caliente, incluyen la graduación de la mezcla y el tamaño máximo de las partículas

La forma de las partículas es una característica que está relacionada al arreglo que éstas puedan tener después de la compactación de la mezcla.

La textura del agregado es proporcionada en el proceso de trituración, que es una textura rugosa en sus caras fracturadas.

La afinidad de un agregado con el asfalto se refiere a la capacidad de estos materiales de permanecer en contacto entre sí ante la acción de agentes externos.

2.3.2.1 Graduación y Tamaño Máximo

Normas: AASHTO T - 27 y AASHTO T – 11, ASTM D 546

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente, requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas, este presente en ciertas proporciones mediante el cribado de los agregados (figura N° 2.3).

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado, es comúnmente llamada graduación del agregado o gradación del agregado (Ver tabla N° 2.6).

Es necesario entender como se mide el

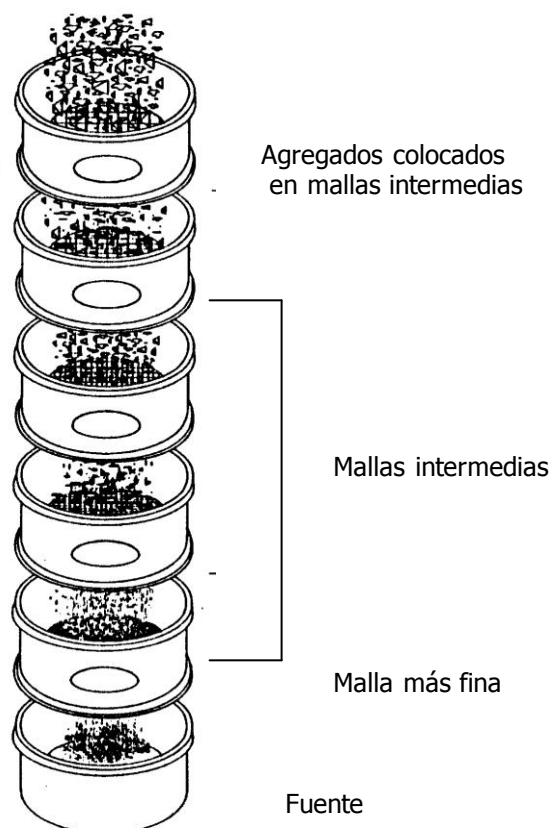


Figura N° 2.3

Ensayo de Granulometría

tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

Tabla N° 2.6. Rango de Valores nominales para la Graduación de Agregados para Recarpeteos con Mezclas Asfálticas en Caliente

Tamaño Máximo	Porcentaje de peso que pasa por la malla señalada AASHTO T - 27 y AASHTO T - 11					
	Descripción de la Graduación					
	A	B	C	D	E	F
37.5mm	100(1)					
25mm	97-100 (1)	100(1)	100(1)			
19mm	-	97-100 (1)	97-100 (1)	100(1)	100(1)	
12.5mm	-	78-88 (5)	*(5)	97-100 (1)	97-100 (1)	
9mm	53-70 (6)	-	*(6)	-	*(5)	100(1)
4.75mm	40-52 *(6)	49-59 *(7)	*(7)	57-69 *(6)	*(6)	33-47 *(6)
2.36mm	25-39 (4)	36-45 (5)	*(5)	41-49 *(6)	*(6)	7-14 (4)
600µm	12-22 (4)	20-28 (4)	*(4)	22-30 (4)	*(4)	-
300 µm	8-16 (3)	13-21 (3)	*(3)	13-21 (3)	*(3)	-
75 µm	3-8 (2)	3-7 (2)	3-8 (2)	3-8 (2)	3-8 (2)	2-4 (2)

(1) Procedimientos Estadísticos no aplican

() Desviación permisible (\pm) de los valores nominales

• Valor específico nominal para contratista

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, Serie de Manuales N°. 22 (MS-22), Instituto del Asfalto Figura 2.6, Sección 2.3.B.1.

2.3.2.2 Tamaño Máximo de Partícula

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

- a) Tamaño máximo nominal de partícula, designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.
- b) Tamaño máximo de partícula designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula, típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

Una mezcla de pavimentación se clasifica de acuerdo a su tamaño máximo o a su tamaño máximo nominal.

La granulometría de las partículas es determinada por un análisis de tamices (o granulometría) efectuado sobre las muestras de agregados. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices (ver Figura N° 2.3), cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico.

Los concretos asfálticos son clasificados de acuerdo a los porcentajes de partículas de agregado que contienen:

- Agregado grueso: material retenido por el tamiz de 2.36 mm (N° 8).

- Agregado fino: material que pasa el tamiz de 2.36 mm (Nº 8).
- Relleno mineral: fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.60 mm (Nº 30).
- Polvo mineral: fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.075 mm (Nº 200).

Todos ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable, y resistente a la penetración del agua. Sin embargo, un pequeño porcentaje de más o menos de relleno o polvo mineral, puede causar que la muestra aparezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea, la mezcla de pavimentación parecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto).

Todos los agregados son porosos, y algunos mas que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

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

2.3.2.3 Limpieza

Norma: AASHTOT 176

Esta prueba se utiliza para estimar la cantidad de partículas de materiales extraños que adulteran el agregado, generalmente estas las constituyen: vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcillas, etc. Las cantidades excesivas de estos materiales, pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable mas fino que 0.075 mm (No. 200). El ensayo de equivalente de arena (AASHTO T 176) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción (porción) de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

2.3.2.4 Dureza

Norma: AASHTOT 96

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación, y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de, la superficie, deben ser mas duros (tener mas resistencia)

que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles (AASHTO T 96) es la medida más común de la dureza en los agregados. Este ensayo nos permite tener una idea, de la forma en que se comportaran los agregados, bajo los efectos de la Abrasión causados por el tráfico. Además nos proporciona una idea del grado de intemperismo que poseen los agregados. Los agregados intemperizados tendrán valores de desgaste elevados, por lo que su uso podrá ser limitado o nulo, dentro de un proyecto de pavimentación. Por lo tanto, este valor, es muy utilizado como un indicador de la relativa calidad de los agregados a utilizarse en pavimentación.

Una medida indirecta de la dureza también la proporciona la prueba de Sanidad de los Agregados, ya que mide la resistencia de este a una simulación de intemperismo agresivo.

También los ensayos para determinación de gravedades específicas están relacionados con la dureza, pues usualmente se acepta que:

Agregados con Gravedades Específicas bajas (< 2.000) no son apropiados para mezclas de superficie, ya que pueden catalogarse como agregados livianos, propensos a excesiva pulimentación, a causa de las cargas vehiculares. También la gravedad específica está relacionada con la porosidad del agregado

y por lo tanto a su capacidad de absorción, por eso éstos valores pueden ser un indicativo de la calidad de los materiales pétreos, así por ejemplo, absorciones altas indicaran agregados con alto contenido de poros permeables, lo que los vuelve de mala calidad para mezclas de superficie.

2.3.2.5 Forma de la Partícula

Normas: ASTM D 692.

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla para el recarpeteo durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento ocurre con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas casi siempre, por trituración.

Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado, proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra o grava triturada. Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y generalmente provienen de arenas naturales.

La prueba de laboratorio más utilizada para medir la forma de las partículas es conocida como "cubicidad de las partículas" normada por la norma venezolana LNV3-86. Este método comprende el procedimiento de laboratorio para determinar las partículas chancadas (caras fracturadas), rodadas y lajeadas de la fracción retenida en la malla N° 4 de un pétreo.

Valores altos de chancado indicarán que el agregado se compone de partículas con el potencial de proporcionar una superficie con adecuada rugosidad. Los valores que componen a la Cubicidad, toman mayor significado en el diseño de las mezclas para superficie de pavimentos, ya que estos valores serán determinantes para obtener el porcentaje óptimo de aglutinante y la rugosidad de la superficie del pavimento a construir con dichos agregados. Así agregados con bajo porcentaje de partículas chancadas, requerirán de un mayor porcentaje de aglutinante que otros con alto porcentaje de partículas chancadas. Las partículas chancadas contribuyen en gran medida a la Estabilidad de la mezcla elaborada con estas mismas.

Las especificaciones ASTM D 692, indican los valores permisibles de partículas chancadas en agregados para mezclas bituminosas. En esta se especifica que para mezclas convencionales, no menos del 40% en peso de las piezas de grava retenido sobre la malla N°4 (4.75 mm), deberán tener por lo menos una cara fracturada, esto significa que el porcentaje mínimo de Rodado permisible para los materiales retenidos en esta malla es 40%. Así mismo para mezclas gruesas

de gradación abierta, se especifica un Porcentaje de Rodado no menor de 90% en peso y un chancado mínimo del 75%, para el material retenido en la malla N° 4.

2.3.2.6 Textura Superficial

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica, como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

2.3.2.7 Capacidad de Absorción

Normas: (Agregado grueso: AASHTO T 85-91 y ASTM C 127.

Agregado fino: AASHTO T 84 y ASTM C 128)

Todos los agregados son porosos, y algunos mas que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

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

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los hagan deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Estos materiales son

altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

El ensayo utilizado para medir esta propiedad física es: el de Gravedad Específica y Absorción del Agregado. El valor de Gravedad Específica y Absorción son utilizados en el diseño de mezclas para superficie, así por ejemplo, la Gravedad Específica es utilizada en el análisis de DENSIDAD-VACIOS de las mezclas asfálticas. También Estos valores pueden ser un indicativo de la calidad de los materiales pétreos, así por ejemplo, Absorciones altas indicaran agregados con alto contenido de poros permeables, lo que los vuelve de mala calidad para mezclas de superficie.

2.3.2.8 Afinidad con el Asfalto

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto, los agregados que tienen alta afinidad con el asfalto son conocidos como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos (como la cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles, al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

No es muy, claro el porque los agregados hidrofóbicos e hidrofílicos se comportan de tal manera. A pesar de esto, existen varios ensayos para determinar su afinidad con el asfalto y su tendencia al desprendimiento. En uno de estos ensayos, la mezcla de agregado - asfalto sin compactar, es sumergida en agua, y las partículas cubiertas son observadas visualmente. En otro ensayo, comúnmente conocido como ensayo de inmersión-compresión, dos muestras de mezcla son preparadas y una es sumergida en agua. Posteriormente, ambas son ensayadas para determinar sus resistencias. La diferencia en resistencia es considerada un indicativo a la susceptibilidad del agregado al desprendimiento.

2.3.2.9 Peso Específico

Norma: ASTM D 70, AASHTO T 228

El peso específico de un agregado (también conocido como gravedad específica) es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso.

Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico mas

alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado, más asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico mas alto (menos volumen.).

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es: que este ayuda en el cálculo de porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire, como será explicado mas adelante en el capítulo 3 (Diseño de Mezclas). Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando, de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conformará la mezcla. El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

Todos los agregados son hasta cierto punto porosos.

Se ha desarrollado tres tipos de peso específico para tener en cuenta la porosidad del agregado, debido a que esta afecta la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas de agregado y también el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla final.

Estos tres tipos son:

- Peso específico total
- Peso específico aparente, y
- Peso específico efectivo

La determinación de esta propiedad (peso específico) incluyendo los tres tipos ya mencionados, se logra mediante el ensayo de laboratorio conocido como:

Gravedad Específica y Absorción del Agregado.

El peso específico total de una muestra incluye todos los poros de la muestra. El peso específico aparente no incluye, como parte del volumen de la muestra, los poros y espacios capilares que se llenarían de agua al saturar la muestra. El peso específico efectivo excluye, del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto. Ninguna de estas suposiciones excepto en casos muy raros, es verdadera sin embargo, el peso específico efectivo, el cual discrimina entre poros permeables al agua y poros permeables al asfalto, es el que mas se acerca al valor correcto que debe ser usado en los cálculos de mezclas asfálticas.

2.4 ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO

2.4.1 COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO

El comportamiento de un pavimento, puede definirse como la capacidad estructural y funcional medible a lo largo de su período de diseño.

La capacidad funcional comprende:

- Calidad aceptable de rodadura
- Adecuada fricción superficial
- Geometría apropiada para seguridad
- Aspecto estético

El asfalto no contribuye sustancialmente a la resistencia mecánica de la superficie, la carga se transmite a través de los agregados a las capas inferiores, donde son finalmente disipadas.

La capacidad estructural del pavimento implica poder soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.

La capacidad estructural y la funcional están íntimamente relacionadas. En efecto, un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en rugosidad, ruido, y aún riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten.

Hay otros tipos de fallas estructurales que pueden progresar sin que los usuarios lo noten hasta etapas muy avanzadas. También puede haber una pérdida de capacidad funcional sin que esto implique pérdida de capacidad estructural (una ampliación sobre estos conceptos, puede encontrarse en el capítulo 4 de este documento).

2.4.2 INDICADORES DE COMPORTAMIENTO.

Hay características del pavimento que pueden medirse cuantitativamente y correlacionarse con las consideraciones subjetivas de los usuarios. Estas características se denominan Indicadores de Comportamiento y son:

- Fallas visibles
- Capacidad estructural
- Fricción superficial
- Rugosidad / Serviciabilidad

Cuando estas características se ven violentadas y la carretera comienza a presentar problemas, el Recarpeteo es una de las soluciones consideradas para devolver a la carretera, condiciones similares de servicio.

Antes de colocar ésta nueva carpeta, la estructura del pavimento debe presentar algunas condiciones estructurales tales como:

a) Terreno de fundación: De su capacidad de soporte depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento y en consecuencia el espesor de la carpeta asfáltica. Por lo que será necesario que el terreno de fundación se encuentre en condiciones aceptables para seguir soportando las cargas vivas las que se encuentra sometido.

b) Sub – Base: Esta capa al igual que el terreno de fundación, no debe presentar problemas mayores y también debe seguir cumpliendo con sus funciones de :

- Servir de capa de drenaje al pavimento.
- Controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de sub-rasante.
- Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de otras fuentes.

c) Base: Deberá conservar la finalidad de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de vehículos y repartirlos uniformemente a las capas inferiores.

A esta capa debe aplicársele una prueba de CBR la cual debe ser superior al 50%.

CAPÍTULO III
CALIDAD DE LA MEZCLA
ASFÁLTICA

CAPÍTULO III. CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

3.1 GENERALIDADES

En una mezcla asfáltica en caliente, las propiedades del asfalto y el agregado combinados en proporciones relativas, determinan las características físicas de la mezcla. Una vez conocidas las características de la mezcla, se puede predecir las cualidades de ésta, tanto en su colocación, como durante su desempeño.

Cuando se diseña una mezcla o cualquier otro producto que se utilizará para el Recarpeteo de Pavimentos Asfálticos, se debe controlar el cumplimiento de ciertas características, con las cuales se pretende garantizar la calidad de la carpeta colocada y terminada. Estas características se enunciarán más adelante.

Los métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla Asfáltica son el Método Marshall y el Método Hveem.

El objetivo general del procedimiento de diseño consiste en determinar una combinación y gradación económica de agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) y asfalto que produzca una mezcla con:

- Suficiente asfalto para garantizar un pavimento durable.
- Adecuada estabilidad para que satisfaga las demandas de tránsito sin producir deformación o desplazamiento.
- Un contenido de vacíos lo suficiente alto para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas del tránsito sin que se produzca

exudación o pérdida de estabilidad, y todavía lo suficientemente bajo para no dejar penetrar los efectos dañinos del aire y el agua.

- Suficiente trabajabilidad para permitir una colocación eficiente sin segregación.
- Que la mezcla seleccionada sea la más económica y la que cumple satisfactoriamente todos los criterios establecidos en las especificaciones de un proyecto en particular.

Otro método para el diseño que se utiliza en otros países es el Superpave, para el cual se iniciaron los estudios a partir del año 1987 y que ha dado resultados efectivos en las carpetas diseñadas bajo este sistema. Este método todavía no se ha aplicado en el país.

El diseño de mezclas es una herramienta que se utiliza para la aceptación de materiales para el control de la mezcla durante su producción colocación y compactación.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento.

Para los métodos Marshall y Hveem, el análisis enfoca cuatro características de la mezcla, y la influencia que tienen sobre el comportamiento de la mezcla.

Estas características son:

- Densidad de la mezcla.

- Vacíos de aire o llamados también vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA EL DISEÑO

3.2.1 DENSIDAD

Es una característica muy importante, la que está definida para la mezcla asfáltica compactada como su peso unitario. Es esencial obtener una densidad alta para obtener un rendimiento duradero.

Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio, debido a que no siempre se logra una compactación in – situ con las densidades que se obtienen en el laboratorio.

3.2.2 VACÍOS DE AIRE

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada.

El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y recarpeteos es del **3 al 5 %**, dependiendo del diseño específico.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta es la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y

viceversa. El rango de vacíos dado por el criterio de diseño, está basado en numerosas investigaciones que muestran que el desempeño de la mezcla depende fundamentalmente del contenido de vacíos tras 2 a 3 años de servicio:

- Vacíos en la Mezcla inferiores al 3% tienden a producir inestabilidad y exudación.
- Vacíos en la Mezcla mayores al 5% producen mezclas permeables al aire y agua, por lo que son propensas a sufrir envejecimiento prematuro y posterior desintegración por oxidación prematura.

Las especificaciones en las obras generalmente requieren una densidad que permita acomodar el menor número posible de vacíos; **menos del 8%**.

Existe consenso en que niveles mayores al 8% dan lugar a mezclas muy permeables al aire y agua, resultando en oxidación prematura, desprendimiento y desintegración.

3.2.3 VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)

Son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada en el recarpeteo, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. Cuanto mayor sea el VMA, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto.

Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Cuyos valores se basan en el hecho de que, cuanta más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

El rango de valores entre los que oscila se muestra en la tabla N° 3.1.

Tabla N° 3.1. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL(Requisitos de VMA)				
Tamaño máximo Nominal ² Porcentaje		VMA mínimo, por ciento ³		
		Vacíos de diseño, por ciento ¹		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	Nº 16	21.5	22.5	23.5
2.36	Nº 8	19	20	21
4.75	Nº 4	16	17	18
9.5	3/8	14	15	16
12.5	½	13	14	15
19	¾	12	13	14
25	1.0	11	12	13
37.5	1.5	10	11	12
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10	11

1 Especificación Norma para tamaños de tamices usados en pruebas ASTM E 11 (AASHTO M 92)

2 El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más de 10% del material.

3 Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Fuente: Serie de Manuales N° 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Figura 3.2, Pág. 59

3.2.4 CONTENIDO DE ASFALTO Pb

El contenido de asfalto de una mezcla en particular, se establece usando los criterios que se encuentren contemplados de acuerdo al método de diseño escogido por el que diseña la mezcla, pudiendo ser el Método Marshall o el

Hveem que son los que comúnmente se eligen.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la gradación de la mezcla, mayor será la superficie total, y mayor será la cantidad de asfalto necesario para cubrir las partículas uniformemente. Inversamente, las mezclas más gruesas (agregados más grandes), requieren menos asfalto pues tienen menor área superficial.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más notable cuando es relleno mineral (fracciones muy finas del agregado que pasan a través del tamiz N° 200).

Los técnicos hablan de 2 tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido:

- Contenido total de asfalto
- Contenido efectivo de asfalto.

El Contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser agregada a la mezcla para producir las cualidades deseadas.

El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. Este se obtiene al restar la cantidad

absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

3.3 PROPIEDADES DESEADAS EN LAS MAC COLOCADA

Las buenas Mezclas Asfálticas en Caliente, son aquellas que se diseñan, elaboran y colocan, cuidando que se adquieran propiedades que garanticen la obtención de pavimentos y Recarpeteos funcionales y durables.

Estas propiedades son:

3.3.1 Estabilidad

Es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. Una carpeta de pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo las cargas repetidas del tráfico. La estabilidad depende de la fricción y la cohesión interna en la mezcla.

3.3.2 Durabilidad

Es la habilidad de una carpeta de asfalto, para resistir factores como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y la separación de las películas de asfalto.

Esta propiedad se mejora de tres formas:

- Usando la mayor cantidad posible de asfalto,
- Usando una gradación densa de agregado resistente a la separación,
- Diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

3.3.3 Impermeabilidad

Es la resistencia al paso del aire y agua hacia el interior del pavimento, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

3.3.4 Trabajabilidad

Está descrita por la facilidad con la que una mezcla de pavimentación (recarpeteo), puede ser colocada y compactada.

3.3.5 Flexibilidad

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la sub-rasante.

3.3.6 Resistencia a la Fatiga

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se conoce por medio de los estudios realizados a diferentes carpetas asfálticas, que los vacíos y la viscosidad del asfalto, tienen un efecto considerable en la resistencia a la fatiga.

3.3.7 Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada.

La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con un tamaño máximo de 9.5 mm (3/8") a 12.5 mm (1/2").

La tabla N° 3.2 identifica algunos problemas que presenta la carpeta del pavimento cuando no se cumplen las propiedades básicas para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

Tabla N° 3.2. **CAUSAS Y EFECTOS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA RECARPETEOS**

BAJA ESTABILIDAD	
Causas	Efectos en la carpeta
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas superficies trituradas	Ahuellamiento y Canalización
POCA DURABILIDAD	
Causas	Efectos en la carpeta
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua (hidrofílicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

Continua

Tabla N° 3.2. CAUSAS Y EFECTOS EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA RECARPETEOS

MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE	
Causas	Efectos en la carpeta
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad.
MALA TRABAJABILIDAD	
Causas	Efectos en la carpeta
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable
MALA RESISTENCIA A LA FATIGA	
Causas	Efectos en la carpeta
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga
POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	
Causas	Efectos en la carpeta
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: Serie de Manuales N° 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Figuras: 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6, Páginas: 61, 62, 63 y 64.

3.4 CRITERIOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

- El espesor de la película de asfalto alrededor del agregado, tiene una influencia determinante en la estabilidad y durabilidad.
- Mientras más delgada es dicha película, menor será la estabilidad. A medida que esta película se engruesa el asfalto tiende a cohesionar el agregado, pasando por un óptimo y luego hace un efecto lubricador.
- La cohesión entre pétreos, varía con el tiempo al perder el asfalto su poder ligante y flexibilidad al oxidarse.
- El aporte del material pétreo a la estabilidad, lo efectúa a través de su fricción interna y ésta a su vez, es función del tamaño del agregado y de la rugosidad de sus caras.
- La falta de estabilidad proporcionada por los agregados, puede ser suplida en parte, usando un asfalto de menor penetración.
- En el diseño además debe considerarse las características de impermeabilidad y Trabajabilidad.

El diseño debe encontrar el mejor balance entre estabilidad y durabilidad, porque el objetivo de esto, es obtener la mezcla más económica.

Esquemáticamente se observa que para obtener una mezcla final con las propiedades y calidad esperada, se tiene que supervisar el cumplimiento de las propiedades básicas de todos los materiales que conformarán la mezcla (Fig. 3.1.):

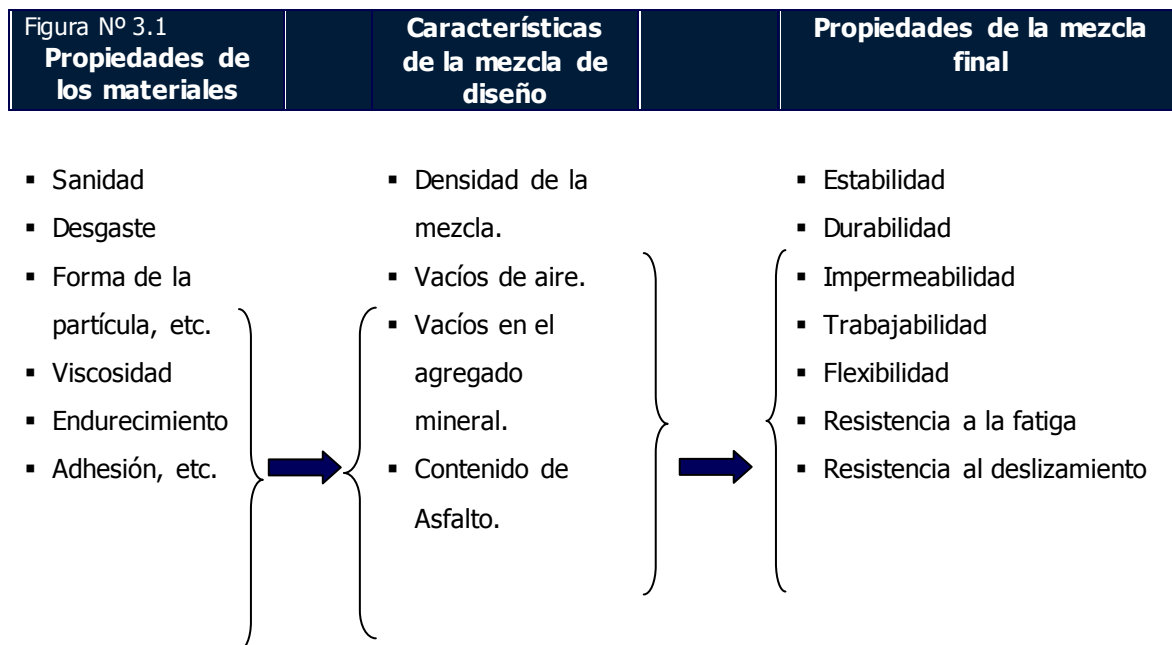


Figura Nº 3.1

Relaciones de Dependencia

3.5 TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA EL RECARPETEO

3.5.1 TIPOS DE MEZCLAS SEGUN DISTINTAS VARIABLES

Se entiende como mezcla el material heterogéneo, obtenido por la unión íntima de agregados, filler y ligante hidrocarbonado, quedando una masa con mayor o menor contenido de aire.

Las Mezclas Asfálticas en Caliente, se clasifican de acuerdo a diferentes criterios.

A continuación se muestra a manera de información general las diferentes clasificaciones:

- **Según la granulometría:**

- a) Mezclas de gradación fina
- b) Mezclas de gradación densa
- c) Mezclas de gradación gruesa
- d) Mezclas de gradación abierta.

- **Según el porcentaje de huecos en la mezcla:**

- a) Mezclas abiertas: huecos mayores al 5%
- b) Mezclas cerradas: huecos menores al 5%

- **Según el método constructivo:**

- a) Mezclas en el Lugar
- b) Mezclas en planta.

- **Según la temperatura de colocación:**

- a) Mezclas en Caliente
- b) Mezclas en Frío

3.5.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

Consiste en mezclar el agregado pétreo y el cemento asfáltico a alta temperatura (135 a 165 °C), son las de mayor estabilidad de todas las mezclas asfálticas.

Los materiales que contiene son:

- **Agregados**

Debe ser grava o combinaciones de grava sin triturar y arena, procedente de rocas duras y resistentes, no debe contener arcilla en terrones ni como película adherida a los granos; y debe estar libre de todo material orgánico.

El agregado se clasifica en: grueso, fino y polvo mineral.

El agregado grueso es la fracción del agregado que queda retenida en la malla N° 8 y no debe tener más de 5%, de su peso, de partículas planas y achatadas, el porcentaje de desgaste (Ensayo de los Ángeles), no debe ser mayor de 50%.

El agregado fino es la fracción que pasa la malla N° 8 y se retiene en la N° 200. Debe estar constituido por arena o residuos de grava, en forma de granos limpios y duros. En esta fracción también suele incluirse el **Relleno Mineral**, cuyas partículas pasan el tamiz N°30.

El polvo mineral es la fracción del agregado que pasa la malla N° 200.

El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente es el pavimento asfáltico de mejor calidad y se compone de una mezcla de agregados gradados y asfalto, realizada a una temperatura aproximada de 150 °C colocada y compactada en caliente. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de calentar y secar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones

adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los camiones transportadores, éstos a su vez, la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después de lo cual se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva alta.

Para la construcción de este tipo de pavimento se usan cementos asfálticos de penetración 60-70 (AC-20), y 85-100 (AC-10).

3.5.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

En las mezclas en frío 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.

Los concretos asfálticos en frío son mezclas utilizadas como carpeta de rodamiento en la pavimentación.

Se obtienen de la dosificación de agregados gruesos, finos, filler, emulsión asfáltica y agua.

Estas mezclas poseen capacidad portante, por esta razón es que se considera su aporte en el paquete estructural.

Los agregados gruesos son exclusivamente provenientes de trituración. Los agregados finos, conviene que provengan de la mezcla de arenas de trituración,

que ofrecen la trabazón necesaria, y arenas silíceas naturales que le otorgan trabajabilidad a la mezcla.

El filler puede ser cualquiera de los comúnmente utilizados en mezclas asfálticas, tales como cemento, cal, etc.

Son ideales para la pavimentación urbana de arterias que serán sometidas a un bajo volumen de tránsito y en donde ese tránsito será casi exclusivamente de automóviles.

Se recomienda su puesta en obra a temperaturas no inferiores a los 20°C ni superiores a los 40 °C.

3.6 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Los métodos de diseño de mezclas asfálticas en caliente más utilizados internacionalmente son los que se mencionan a continuación:

- Método Marshall
- Método Hveem
- Superpave

De estos métodos, el más utilizado en nuestro país es el Método Marshall, debido a que el equipo utilizado es de costo relativamente bajo y portátil por lo que generalmente las especificaciones técnicas de diseño lo utilizan.

El método Marshall y el Hveem, se fundamentan en una lógica de prueba y error, en donde midiendo ciertas características de la mezcla de diseño, se

pueden suponer las cualidades de la mezcla en su colocación y acabado. *Las cualidades de la mezcla están en función de sus características*, lo cual puede esquematizarse como sigue: $F(X) = Y$

$$\mathbf{F} \left(\begin{array}{l} \bullet \text{ Densidad de la mezcla} \\ \bullet \text{ Vacíos de aire} \\ \bullet \text{ Vacíos en el agregado mineral} \\ \bullet \text{ Contenido de asfalto} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \bullet \text{ Estabilidad} \\ \bullet \text{ Durabilidad} \\ \bullet \text{ Impermeabilidad} \\ \bullet \text{ Trabajabilidad} \\ \bullet \text{ Flexibilidad} \\ \bullet \text{ Resistencia a la fatiga} \\ \bullet \text{ Resistencia al deslizamiento} \end{array} \right)$$

En ambos métodos es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla de pavimentación. La dosificación será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem. Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros.

A continuación se hace una descripción sintetizada de los métodos de diseño mencionados anteriormente:

3.6.1 MÉTODO MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

NORMAS: AASHTO T-245, ASTM D-1559

3.6.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Muchas agencias usan actualmente el Método Marshall para el diseño de mezclas. Es desde hace mucho tiempo, el procedimiento más usado para el diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente en el mundo. Esta técnica finalmente fue normalizada como ASTM D 1559, "***Resistencia a la fluencia plástica de mezclas bituminosas usando el Aparato de Marshall***".

El método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su ***estabilidad/fluencia y densidad/vacíos***.

Una de las virtudes del método Marshall es la importancia que asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico.

Este análisis garantiza que las proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla, están dentro de rangos adecuados para asegurar una Mezcla Asfáltica en Caliente durable. Otra ventaja del método es que el equipamiento requerido no es caro y es de fácil manejo, por lo que, se presta a operaciones de control de calidad a distancia. Desafortunadamente, muchos ingenieros creen que el método de compactación de laboratorio por impacto usado en el método Marshall no simula la densificación de la mezcla

que ocurre bajo tránsito en un pavimento real. Más aún, el parámetro de resistencia usado en éste enfoque, estabilidad Marshall (Fig.3.2) no estima en forma adecuada la resistencia al corte de la Mezcla Asfáltica en Caliente. Estas dos situaciones pueden resultar en mezclas asfálticas propensas al ahuellamiento. En consecuencia, se puede concluir que el método Marshall ha sobrevivido más allá de su utilidad como moderno método de diseño de mezclas asfálticas.

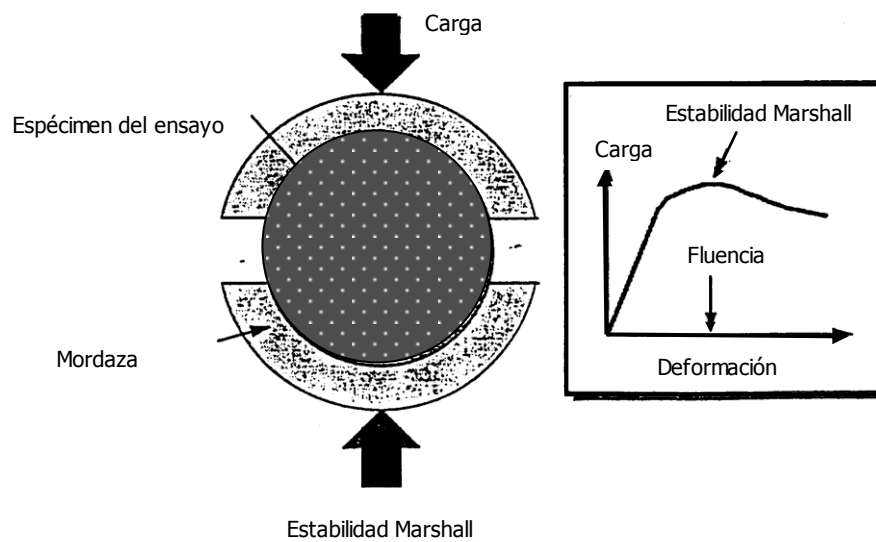


Figura N° 3.2

Parámetro para la estabilidad Marshall

Este método tradicionalmente se aplica a mezclas asfálticas en caliente, donde el asfalto ha sido clasificado por penetración o viscosidad, y que contiene agregados con tamaños máximos de 25.0 mm (1 pulgada o menos).

El Método Marshall es una serie de ensayos que utilizan muestras normalizadas de prueba (probetas) de 64 mm (2.5



Fotografía N° 3.1

Probetas de 2.5" x 4"

pulgadas) de espesor por 102 mm (4 pulgadas) de diámetro (Ver fotografía 3.1).

Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son:

- Análisis de la relación de vacíos-densidad,
- Prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

3.6.1.2 PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO MARSHALL

a) Selección de las Muestras de Material

El primer paso en el método de diseño, es seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir las cualidades que se están buscando para la carpeta (estabilidad, durabilidad, Trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etcétera).

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio.

El procedimiento incluye:

- Secar el agregado: hasta obtener un peso constante a una temperatura de 110 °C.
- Determinar peso específico: es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado, con el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado, establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto y vacíos que van a usarse en el método de diseño.

- Análisis granulométrico por lavado: mediante el cual se identifican las proporciones de partículas diferentes en las muestras de agregado (Ver Norma AASHTO T- 11).

b) Selección del Tipo de Mezcla: tomando en cuenta el criterio del diseñador, las clasificaciones de la tabla N° 3.3

c) Evaluación de la Granulometría de los Agregados: determinar por medio de ensayos granulométricos, si los tamaños de agregados están dentro de los rangos teóricos, propios de cada tipo de granulometría, de acuerdo a las gráficas con las curvas de graduación.

d) Proporcionamiento de Agregados y Asfaltos: se mezclan los agregados en sus diferentes proporciones con los distintos contenidos de asfalto que se evaluarán.

e) Preparación de Especímenes de Ensayo:

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla.

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

Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados Marshall, como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla. Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación (Ver fotografía 3.2). El número de

golpes del martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla esta siendo diseñada (tabla N° 3.4). Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes.



Fotografía N° 3.2 Equipo compactador y muestra en proceso de compactación

Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

f) Determinación de la Gravedad Específica Bulk de los Especímenes Compactados

g) Ensayo Estabilidad – Flujo: como se mencionó anteriormente, el ensayo de estabilidad, está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla.

h) Determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima de la Mezcla Suelta.

i) Análisis Densidad – Vacíos: ver sección 3.6.1.3.

3.6.1.3 ENSAYOS MARSHALL

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall, estos son:

- a) Determinación del peso específico total,
- b) Medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y
- c) Análisis de la densidad y el contenido de vacíos.

a) Determinación del Peso Específico Total

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 166.

b) Ensayos de estabilidad y fluencia

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla (Ver fotografía 3.3).

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son

consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito (tabla N° 3.3).



c) Análisis de Densidad y Vacíos

El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba.

• Análisis de Vacíos

Se calcula a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto

absorbido por el agregado; o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T- 209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y en agua. La tabla N° 3.4 proporciona valores límite de porcentaje de vacíos según intensidad de tránsito.

• **Análisis de Peso Unitario**

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por la densidad del agua 1000 kg/m^3 (62.4 lb/ft^3).

• **Análisis de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)**

El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen del agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada (tabla N° 3.1).

• **Análisis de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA)**

El VFA, es el porcentaje de vacíos ínter granulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje. La tabla N° 3.3 proporciona valores límites de VFA en función de la intensidad de tránsito para el cual se diseñará la carpeta.

Tabla N° 3.3. **CRITERIOS PARA EL DISEÑO MARSHALL**

Criterios para Mezcla del Método Marshall	Tránsito liviano Carpeta y Base		Tránsito Mediano Carpeta y Base		Tránsito Pesado Carpeta y Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactación, número de golpes en cada cara de la Probeta	35		50		75	
Estabilidad, N (Lb.)	3336	-	5338	-	8006	-
	(750)	-	(1200)	-	(1800)	-
Fluencia, 0.25 mm (0.01 pulg.)	8	18	8	16	8	14
Porcentajes de Vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentajes de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	Ver tabla N° 3.1					
Porcentajes de Vacíos llenos de Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

Nota: Clasificaciones del tránsito

- Liviano: condiciones de tránsito que resulten en un ESAL de diseño < 104
- Mediano: condiciones de tránsito que resulten en un ESAL de diseño entre 104 y 106
- Pesado: condiciones de tránsito que resulten en un ESAL de diseño > 106

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

Previo a la ejecución del método se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los materiales a usar deben cumplir con las especificaciones del proyecto.
- La mezcla de agregados debe cumplir con las especificaciones granulométricas del proyecto
- Se deben determinar las densidades reales secas de todos los agregados y las del asfalto para ser usados en el análisis de huecos de la mezcla.

Las dos características principales del método de diseño son el análisis densidad-vacíos y el ensayo de fluencia y estabilidad de las probetas.

LA ESTABILIDAD DE LA PROBETA DE ENSAYO: ES LA CARGA MÁXIMA EN NEWTON QUE ÉSTA ALCANZA A 60 °C

LA FLUENCIA: ES LA DEFORMACIÓN, EN DÉCIMAS DE MILÍMETROS, QUE OCURRE DESDE EL INSTANTE OUE SE APLICA LA CARGA HASTA LOGRAR LA CARGA MÁXIMA.

3.6.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO MARSHALL

Se procede a trazar los resultados del ensayo en gráficas, para poder analizar las características particulares de cada muestra. Mediante el estudio de las gráficas se puede determinar cual muestra de la serie, cumple mejor los criterios establecidos para el pavimento terminado. Las proporciones de asfalto y agregado en estas muestras se convierten en las proporciones usadas en la mezcla final.

Las gráficas que se deben trazar para el diseño son:

- Porcentajes de vacíos
- Porcentajes de vacíos en el agregado mineral (VMA)
- Porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VFA)
- Pesos unitarios (densidades)
- Estabilidad Marshall
- Fluencia Marshall

En cada gráfica, los puntos representan los diferentes valores que deben ser conectados mediante líneas para formar curvas suaves. (Ver figura N° 3.3).

NOTA: Lo más práctico es tomar una serie de cinco muestras.

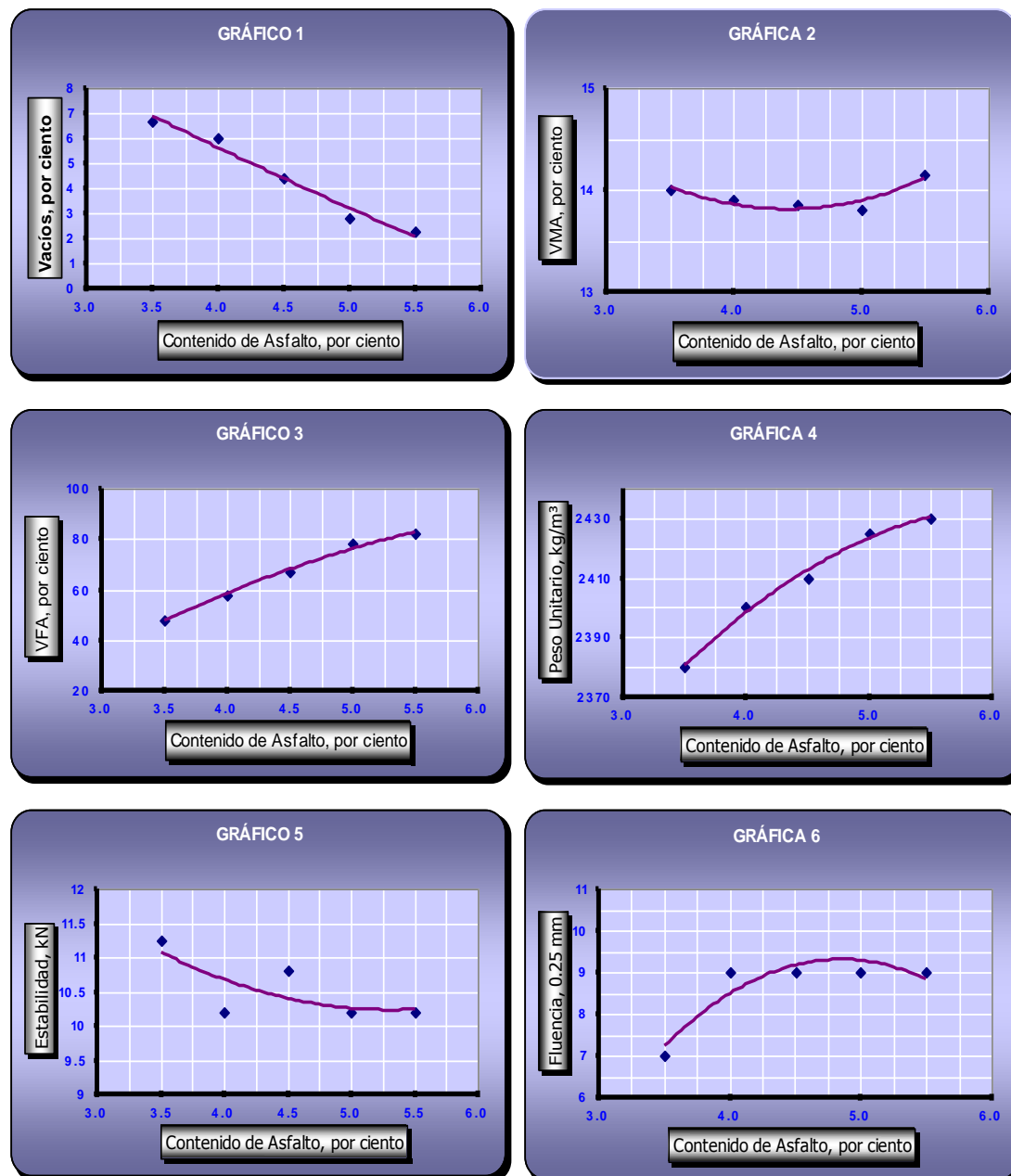


Figura N° 3.3

Gráficas usadas por el Método Marshall

3.6.1.5 SELECCIÓN DEL DISEÑO DE MUESTRA ADECUADO

El diseño de mezcla seleccionado para ser usado en un Recarpeteo es, generalmente, aquel que cumple, de la manera más económica, con todos los criterios establecidos. Sin embargo, no se debe diseñar una mezcla para optimizar una propiedad en particular. Por ejemplo, las mezclas con valores muy altos de estabilidad son, con frecuencia, poco deseable, debido a que los pavimentos que contienen este tipo de mezclas tienden a ser menos durables y pueden agrietarse prematuramente bajo volúmenes grandes de tránsito. Cualquier variación en los criterios de diseño deberá ser permitida solo bajo circunstancias poco usuales, a no ser que el comportamiento en servicio de una mezcla en particular indique que dicha mezcla alternativa es satisfactoria.

En la Tabla N° 3.4 se puede observar de una forma sintetizada, los pasos necesarios que son solicitados por el Método Marshall.

Tabla N° 3.4

PASOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL MÉTODO MARSHALL

1. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL: SECAR EL AGREGADO
 - HACER UN ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR VÍA HÚMEDA
 - DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL
2. SELECCIÓN DEL TIPO DE MEZCLA: EL ASFALTO DEBE ESTAR CLASIFICADO PREVIAMENTE POR VISCOSIDAD O POR PENETRACIÓN.
3. EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS: (El Tamaño Máx. del agregado debe ser de 1 Pulgada.)
4. PROPORCIONAMIENTO DE AGREGADOS Y ASFALTOS:
5. PREPARACIÓN DE ESPECIMENES DE ENSAYO:
 - DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO TOTAL
 - MEDICIÓN DE LA ESTABILIDAD Y LA FLUENCIA → (2 gráficas)
 - ANÁLISIS DE LA DENSIDAD Y DEL CONTENIDO DE VACÍOS
 - ANÁLISIS DE VACÍOS
 - ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO
 - ANÁLISIS DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)
 - ANÁLISIS DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)
6. DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LOS ESPECIMENES COMPACTADOS.
7. ENSAYO ESTABILIDAD – FLUJO
8. DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA SUELTA
9. ANÁLISIS DENSIDAD – VACÍOS

3.6.1.6 MÉTODO MARSHALL MODIFICADO

Existe un Método Marshall modificado que ha sido desarrollado por Kandhal, del Centro Nacional para la Tecnología del Asfalto de E.E.U.U. , el cual se aplica para mezclar compuestos de agregados con tamaños máximos arriba de 38 mm (1.5 pulg.). Este procedimiento está documentado en forma de borrador en el Documento de Procedimientos de la Asociación de Tecnólogos de Pavimentos Asfáltico (AAPT), 1990.

El procedimiento es básicamente el mismo que el método original, excepto por las diferencias que se establecen debido al tamaño más grande del espécimen que se usa:

1. El peso del martillo es de 10.2 Kg. (22.5 lb.) y tiene una superficie plana de compactación de 149.4 mm (5.88 pulg.) de diámetro.
2. El espécimen tiene un diámetro de 152.4 mm (6 pulg.) por 95.2 mm (3.75 pulg.) de altura.
3. El peso de la mezcla por bachada es generalmente de 4 Kg.
4. El equipo para compactar y ensayar (moldes y cabezal partido) son proporcionalmente más grandes, para acomodar los especímenes más grandes.
5. La mezcla es colocada dentro del molde en dos incrementos aproximadamente iguales, con aplicación de acomodamientos con la espátula después de cada incremento para evitar segregación.

6. El número de golpes necesario para estos especímenes es de 1.5 veces (75 ó 112 golpes) que el requerido para los especímenes estándar (50 ó 75 golpes) para obtener una compactación equivalente.
7. El criterio de diseño también debe modificarse. La Estabilidad mínima debe ser 2.25 veces y el rango de Flujo debe ser 1.5 veces que el criterio establecido para especímenes de tamaño normal.
8. Similar al procedimiento normal, estos valores deben usarse para convertir los valores medidos de Estabilidad a un valor equivalente para un espécimen con un espesor de 95.2 mm, si existe variación en los especímenes de ensayo. Algunos parámetros se ven en la tabla N° 3.5.

Tabla N° 3.5

PARAMETROS PARA MARSHALL MODIFICADO		
Altura aproximada mm	Volumen espécimen cm³	Razón de correlación
88.9	1608 – 1636	1.12
90.5	1637 – 1665	1.09
92.1	1666 – 1694	1.06
93.9	1695 – 1723	1.03
95.2	1724 – 1752	1
96.8	1753 – 1781	0.97
98.4	1782- 1810	0.95
100.0	1811 – 1839	0.92
101.6	1840 – 1868	0.90

Fuente: Documento de Procedimientos de la Asociación de Tecnólogos de Pavimentos Asfáltico (AAPT), 1990.

3.6.2 MÉTODO HVEEM DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

NORMAS: AASHTOT-246, T-247, ASTM D-1560 y D-1561

3.6.2.1 Generalidades

El procedimiento de diseño de mezclas Hveem, fue desarrollado y refinado a través de un largo período. El método finalmente fue adoptado en la norma ASTM 1560, *"Resistencia a la deformación y cohesión de mezclas bituminosas por medio del aparato de Hveem"*, y ASTM 1561, *"Preparación de muestras de ensayo de mezclas bituminosas por medio del compactador de California Kneading (varilla de punta redondeada)"*.

El método Hveem, también implica análisis de densidad/vacíos y de estabilidad. La resistencia de la mezcla al hinchamiento por la presencia de agua también se determina. El método Hveem tiene dos ventajas concretas. La primera, el método de laboratorio de compactación por amasado (= "kneading") es, para muchos ingenieros, una mejor simulación de las características de densificación de la Mezcla Asfáltica en Caliente de un pavimento real. La segunda, el parámetro de resistencia, estabilidad Hveem (Fig. N° 3.4) es una medida directa de la componente de fricción interna de la resistencia al corte. Mide la capacidad de una probeta de ensayo a resistir un desplazamiento lateral por la aplicación de una carga vertical.

La desventaja del procedimiento Hveem es que el equipo de ensayo, en particular el compactador por amasado y el estabilómetro de Hveem, es de mayor costo en relación con el equipo utilizado por el Método Marshall y no es de fácil movilización.

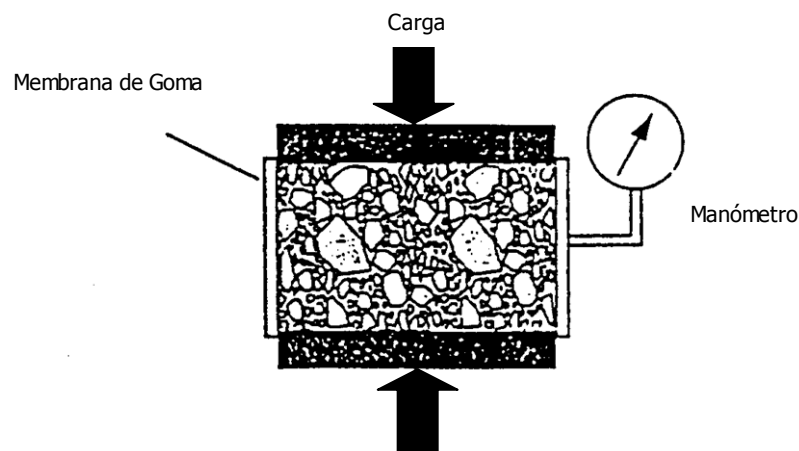


Figura N° 3.4

Esquema de ensayo de estabilidad por Hveem

Además, algunas importantes propiedades volumétricas relacionadas con la durabilidad de la mezcla no son rutinariamente determinadas en el método.

El propósito del Método Hveem es el de determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica final.

El Método Hveem, solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado por viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm (1

pulgada) o menos. Algunos ingenieros creen que el método de selección del contenido de asfalto en el método Hveem es demasiado subjetivo y podría resultar en una Mezcla Asfáltica en Caliente con muy poco asfalto, y por lo tanto con baja durabilidad.

El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para control de campo.

El método tiene procedimientos para identificar inicialmente: gradación, área superficial y capacidad superficial del agregado. Un contenido aproximado de asfalto para la muestra es luego calculado a partir de estos procedimientos. Posteriormente, se preparan probetas de mezcla con contenidos ligeramente variables de asfalto, usando métodos que simulan las condiciones actuales de la producción de mezclas de pavimentación.

Los procedimientos que el método incluye son:

- Ensayo Equivalente Centrifugo de Kerosene (CKE) para determinar un contenido aproximado de asfalto.
- Preparación de probetas de prueba con el contenido aproximado de asfalto, y con contenidos mayores y menores que el aproximado.
- Ensayo de estabilidad para evaluar la resistencia a la deformación.
- Ensayo de expansión para determinar el efecto del agua en el cambio de volumen y en la permeabilidad de la briqueta.

Cada uno de estos procedimientos es presentado en detalle a continuación:

3.6.2.2 Procedimiento por el Método Hveem

a) Selección de las muestras de material

El primer paso en el método de diseño, es determinar las propiedades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas características. Una vez hecho esto, se puede seguir con la preparación de los ensayos.

b) Preparación del agregado

En el Método Hveem no se requiere preparación alguna del asfalto, debido a que las características del asfalto son ya conocidas cuando se selecciona el grado de asfalto. Los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características.

Estos procedimientos al igual que en el método Marshall, incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico por lavado. En este método también se incluyen dos procedimientos más que son: *Determinar el área superficial del agregado, y determinar la capacidad superficial del agregado grueso.*

Los procedimientos: Secado del agregado, Análisis granulométrico por vía húmeda y la determinación del peso específico, se realizan de igual forma que para el Método Marshall.

▪ Determinación del área superficial del agregado

En el Método Hveem, el área superficial de un agregado (junto con su capacidad superficial) es el parámetro usado para aproximar el contenido de asfalto de la mezcla. El área superficial se determina después de tamizar en seco una muestra de agregado, y pesar el contenido de cada tamiz. Esta información es luego convertida en el área superficial estimada de la muestra mediante el uso de una tabla de Factores de Área Superficial, la que se expresa en términos de metros cuadrados por kilogramo (pies cuadrados por libra) y varía inversamente con el tamaño del agregado. Ver tabla N° 3.6

Tabla N° 3.6.

FACTORES DE ÁREA SUPERFICIAL

Tamaño Máximo								
mm	19.1 y 9.5	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
Malla	¾" y 3/8"	(4)	(8)	(16)	(30)	(50)	(100)	(200)
Factor de Área Superficial								
ft²/lb	2	2	4	8	14	30	60	160
(m²/kg)	(0.41)	(0.41)	(0.82)	(1.64)	(2.87)	(6.14)	(12.29)	(32.77)

Cálculo de Área Superficial por el Método Hveem

Tamaño de Tamiz	Porcentaje que pasa	Factor de A. S.	Área Superficial
19.0 mm (3/4")	100	2 (0.41)	2.0 (0.41)
9.5 mm (3/8")	90		
4.75 mm (No 4)	75	2 (0.41)	1.5 (0.31)
2.36 mm (No 8)	60	4 (0.82)	2.4 (0.49)
1.18 mm (No 16)	45	8 (1.64)	3.6 (0.74)
0.60 mm (No 30)	35	14 (2.87)	4.9 (1.00)
0.30 mm (No 50)	25	30 (6.14)	7.5 (1.54)
0.15 mm (No 100)	18	60 (12.29)	10.8 (2.21)
0.075 mm (No 200)	10	160 (32.77)	16.0 (3.28)

Área superficial = 48.7 ft²/Lb (9.98 m²/kg) .

Fuente: Serie de Manuales N° 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Fig 3.23 Pág. 87

▪ **Determinación de la capacidad superficial de los agregados**

La capacidad superficial de un agregado es su capacidad para retener una capa de asfalto. El ensayo Equivalente Centrífugo de Kerosene (CKE) es usado para determinar un contenido aproximado de asfalto para un agregado. El procedimiento CKE suministra un índice llamado factor "K" que indica, basado en la porosidad, la **rugosidad relativa** de partícula y la **capacidad superficial del agregado**.

Los factores "K" son determinados por medio de ensayos que miden la cantidad de aceite retenido en la fracción gruesa (material pasando el tamiz 9.5 mm y retenido en el tamiz 4.75 mm de un agregado) y la cantidad retenida en la fracción fina (material pasando el tamiz 4.75 mm). Los factores son luego combinados en un solo factor que representa el compuesto de agregado. Este factor individual, junto con el área superficial del agregado, es posteriormente usado para determinar un contenido aproximado de asfalto a partir de una serie de gráficos.

c) Preparación de las probetas de ensayo

Los contenidos de asfalto usados en las probetas de ensayo son los contenidos sugeridos por los datos de los ensayos de área superficial y capacidad superficial. La proporción de agregados de las mezclas es formulada a partir de los resultados de los análisis de tamices en seco.

3.6.2.3 Ensayos Hveem

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Hveem. Estos son:

- Ensayo de Estabilómetro
- Determinación de Densidad
- Ensayo de Expansión.

a) Ensayo de Estabilómetro

Diseñado para medir la estabilidad de una mezcla de prueba bajo esfuerzos específicos.

La probeta compactada es colocada dentro del estabilómetro, en donde esta rodeada por una membrana de caucho (Figura 3.5). Una carga vertical es impuesta sobre la probeta y la presión lateral (horizontal) resultante es medida. La presión vertical simula los efectos de la repetición de las cargas de ruedas neumáticas, bajo un periodo largo.

LOS RESULTADOS DEL ESTABILÓMETRO DEPENDEN, EN GRAN PARTE, DE LA FRICCIÓN INTERNA, DE LOS AGREGADOS Y EN UN MENOR GRADO, DE LA CONSISTENCIA DEL ASFALTO.

El valor de estabilidad se obtiene de una escala arbitraria que va de 0 a 100: el 0 corresponde a un líquido que no presenta resistencia interna a cargas lentamente aplicadas, el 100 corresponde a un sólido hipotético que transmite

bajo cierta carga vertical, una presión lateral que no puede registrarse.

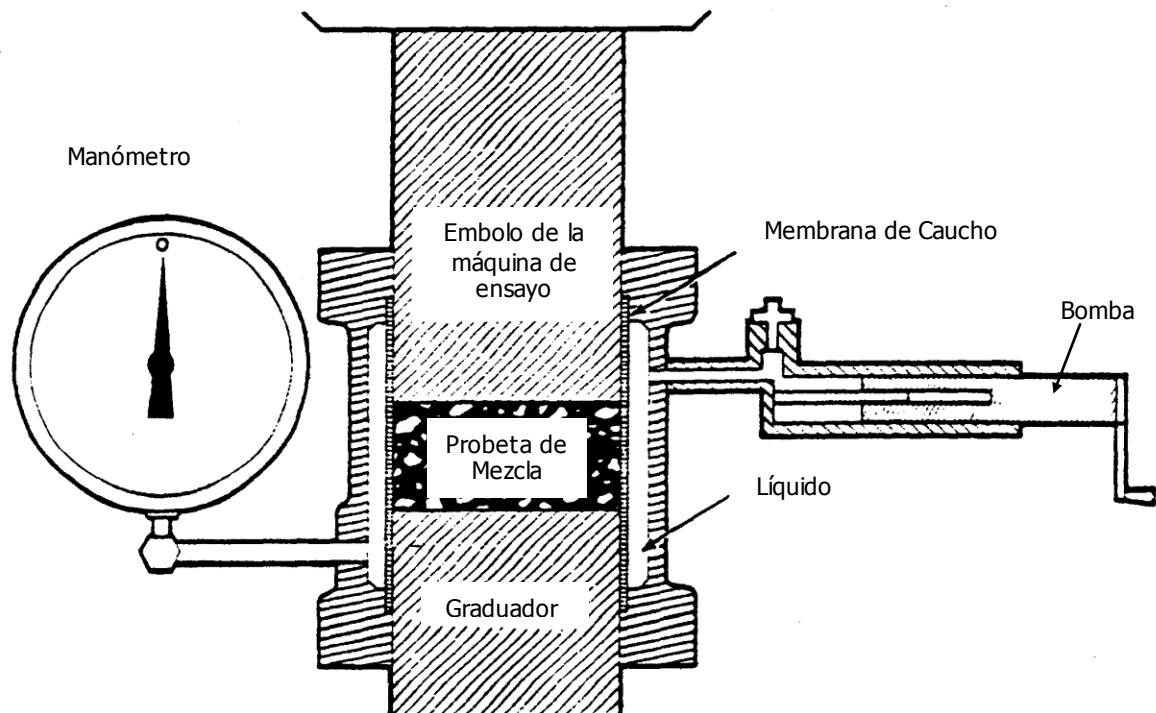


Figura Nº 3.5

Prueba del Estabilómetro

b) Análisis de vacíos. Igual que en método Marshall

c) Ensayo de expansión. El agua es el enemigo de todas las estructuras de pavimento. En consecuencia, un diseño de una mezcla de pavimentación debe estar dirigido a proporcionarle al pavimento una adecuada resistencia al agua para garantizar su durabilidad. El ensayo de expansión mide la cantidad de agua que se filtra dentro o a través de una probeta, y la cantidad de expansión que el agua causa. También mide la permeabilidad de la mezcla, su capacidad de permitir que el agua pase a través de ella. El aparato usado para conducir el

ensayo de expansión esta ilustrado en la figura N° 3.6. y los criterios de diseño por Hveem se muestran en la tabla N° 3.7

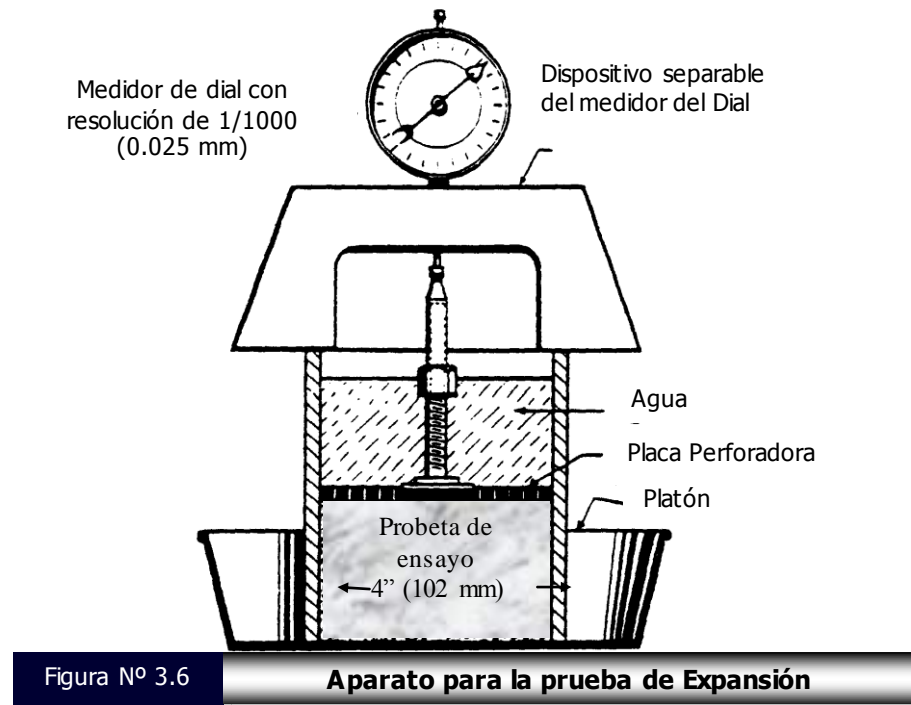


Tabla N° 3.7. **CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLA MÉTODO HVEEM**

Categoría de Tránsito	Pesado		Mediano		Liviano	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Propiedad de la Prueba	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Valor del Estabilómetro	37	-	35	-	30	-
Expansión	Menos que 0.030 pulgadas (0.762 mm)					

NOTAS:

1. Se hace un esfuerzo por proveer un porcentaje mínimo de vacíos de aproximadamente 4 %, aunque no está dentro del método de diseño.
2. Todos los criterios y no solo la estabilidad, deben ser considerados en el diseño de una mezcla asfáltica de pavimentación.

Fuente: Serie de Manuales N° 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), Figura 3.31 Pág. 95

La prueba de expansión es un procedimiento sencillo que básicamente consiste en lo siguiente:

La probeta, en su molde de compactación, se coloca en el aparato de la prueba de expansión (Fig. 3.8), una vez ahí se toma la lectura inicial del medidor de expansión. La probeta se deja reposar sumergida por veinticuatro horas, y luego se le toma una segunda lectura al medidor. Esta lectura indica cuanto se ha elevado la superficie de la probeta debido a la expansión. La diferencia entre esta medida y la medida tomada inicialmente (veinticuatro horas antes) indica la cantidad de agua que se ha filtrado en la briqueta. Por lo tanto, esta diferencia es una medida de la permeabilidad de la briqueta.

3.6.2.4 Análisis del Ensayo Hveem

Los resultados del Ensayo de Estabilómetro, de la densidad total, y de los contenidos de vacíos, se registran en una hoja de cálculo y se trazan en gráficos como se muestra en la figura N° 3.7. Cada punto del gráfico representa el valor obtenido por una probeta, o serie de probetas, en un ensayo. Los puntos son conectados por medio de una línea continua para formar una curva suave. Estos gráficos son usados para comparar las características de las probetas de ensayo. Para determinar si el diseño de una mezcla por el método Hveem es o no adecuado, es necesario verificar si el contenido de asfalto y la granulometría del agregado cumplen con los requisitos enunciados en la tabla N° 3.6.

El contenido óptimo de asfalto se determina al comparar tres características de la mezcla. Estas son: los valores del estabilómetro, los porcentajes de vacíos, y la tendencia a la exudación. Los gráficos de pirámide, como el de la figura N° 3.8 se usan para efectuar las comparaciones y poder determinar cual es la mejor mezcla de prueba para el pavimento que esta siendo diseñado.

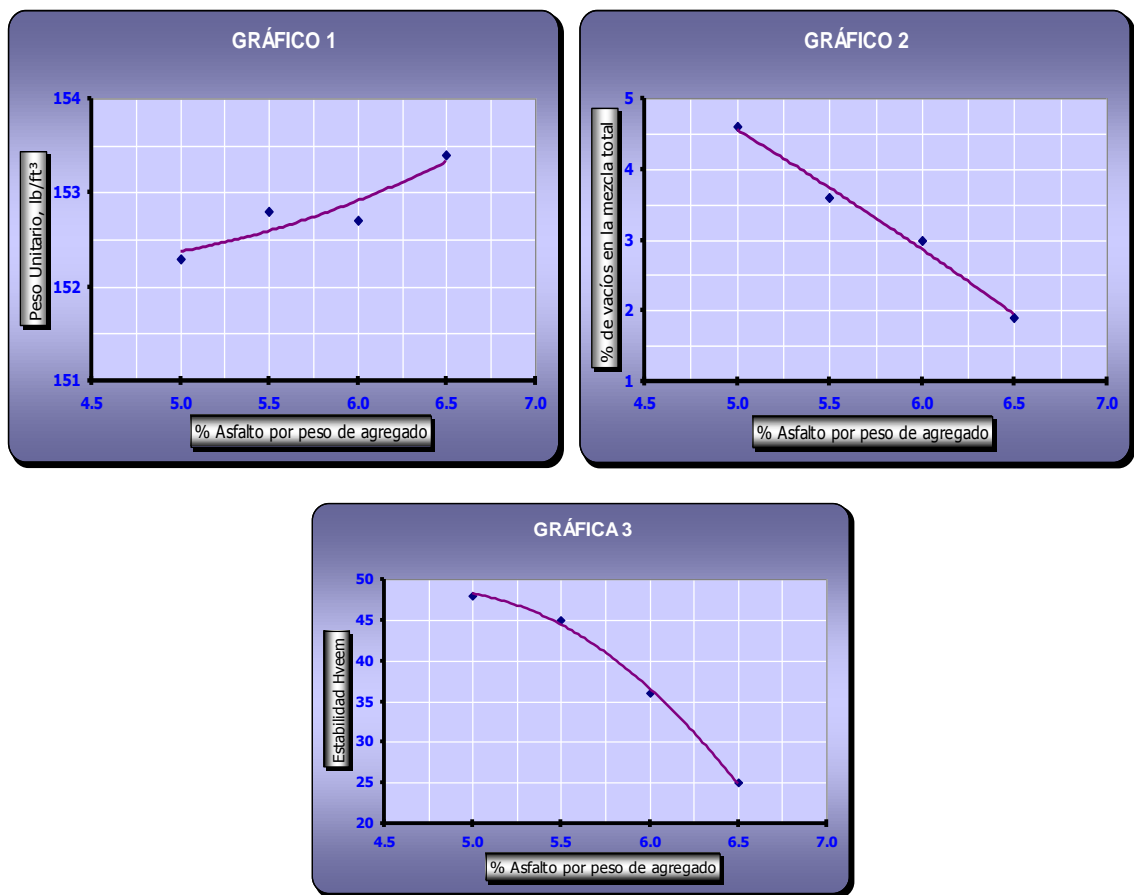
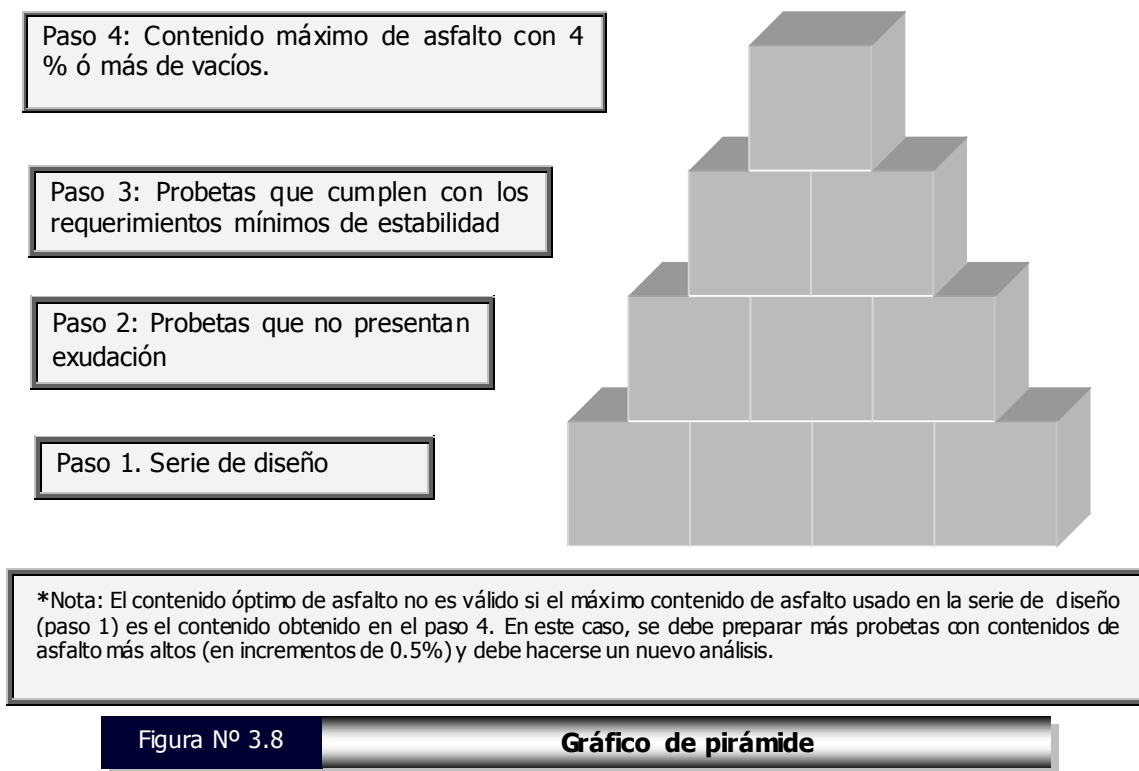


Figura N° 3.7

Gráficas tipo utilizadas en el Método Hveem



El procedimiento usado para determinar el contenido óptimo de asfalto es el siguiente:

- 1) Registrar, en el Paso 1 de la pirámide, los contenidos de asfalto usados para preparar las probetas de ensayo. Registrar los contenidos en orden de menor a mayor de izquierda a derecha (el máximo contenido aparecerá en el último cuadro de la derecha).
- 2) Seleccionar, del Paso 1, los tres contenidos más altos de asfalto que no presenten exudación superficial "moderada" o "fuerte", y registrarlos en el Paso 2 de la pirámide. Una exudación superficial se considera "leve" si la superficie presenta un ligero lustre. La exudación se considera "moderada" si hay una

cantidad suficiente de asfalto libre que aparentemente causa que un papel se pegue a la superficie; pero no se nota ninguna deformación en la probeta. La exudación superficial se considera "fuerte" si hay suficiente asfalto libre para causar burbujas superficiales, o deformación en la probeta, después de la compactación.

3) Seleccionar, del Paso 2, los contenidos más altos de asfalto que a su vez proporcionen el mínimo valor específico de estabilidad, y registrarlos en el Paso 3 de la pirámide.

4) Seleccionar, del Paso 3, $\frac{1}{4}$ contenido más alto de asfalto que a su vez produce un contenido de vacíos de por lo menos 4.0 por ciento y registrar su valor en el Paso 4 de la pirámide. Este es el contenido óptimo de asfalto. Sin embargo, si el contenido máximo de asfalto usado en el Paso 1 es el mismo contenido de asfalto que resulta en el Paso 4, se deberán preparar probetas adicionales con contenidos más altos de asfalto y deberá determinarse un nuevo contenido óptimo de asfalto. La razón es que un contenido de asfalto mayor que el máximo ensayado puede llegar a ser mejor para el diseño del pavimento, pruebas de diseño de mezclas son un medio para establecer especificaciones, y para comprobar si la mezcla de pavimentación usada en la carretera cumple con las mismas.

A continuación se presenta una tabla resumen sobre la metodología Hveem de diseño de mezclas asfálticas en caliente (Tabla N° 3.8):

Tabla Nº 3.8

PASOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL MÉTODO HVEEM

- **SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE MATERIAL**
- **PREPARACIÓN DEL AGREGADO**
 - **SECANDO EL AGREGADO**
 - **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO**
 - **DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO**
 - **DETERMINACIÓN DEL ÁREA SUPERFICIAL DEL AGREGADO**
 - **DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD SUPERFICIAL DEL AGREGADO**
- **PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO**
- **ENSAYOS**
 - **ENSAYO DE ESTABILÓMETRO → 1 gráfica**
 - **ANÁLISIS DE VACÍOS → 1 gráfica**
 - **DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO → 1 gráfica**
 - **ENSAYO DE EXPANSIÓN**

3.6.3 MÉTODO DEL SUPERPAVE

3.6.3.1 Definición

Otro método de diseño conocido es el desarrollado en EE.UU. conocido actualmente por sus siglas: SUPERPAVE (*SUperior PERforming Asphalt PAVement*). Este surgió como el producto de un Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP), dirigido por Federal Highway Administration (FHWA), el cual se desarrolló en el período de octubre de 1987 a marzo de 1993. Fundamentalmente, representa un sistema más avanzado de especificación de los materiales componentes, diseño de mezclas asfálticas y su análisis, y la predicción de la "performance" (en adelante desempeño) de los pavimentos, incluyendo equipos de ensayo, métodos de ensayo y criterios.

La teoría del método en cuestión se fundamenta en el hecho de que: el asfalto tiene un comportamiento visco-elástico conocido, y el agregado se comporta según la teoría de Mohr-Coulomb la cual se puede definir así: "la resistencia al corte de una mezcla de agregados depende de la cohesión, la tensión normal y la fricción interna de los agregados" ($\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$). De la resistencia al corte de la mezcla asfáltica final dependerá su desempeño durante toda su vida útil, antes que falle por ahuellamiento, fisuramiento por fatiga y/o fisuramiento por baja temperatura.

3.6.3.2 Ligantes Asfálticos

Una parte del Superpave es una nueva especificación sobre ligantes asfálticos con un nuevo conjunto de ensayos.

La singularidad del nuevo sistema para ligantes asfálticos reside en que es una especificación basada en el desempeño. Especifica ligantes en base al clima y en la temperatura prevista en el pavimento. Las propiedades físicas exigidas se mantienen sin cambios, pero cambia la temperatura para la cual el ligante debe cumplir esas propiedades. P. Ej., para una temperatura alta dada, la rigidez (stiffness) de un ligante sin envejecer ($G^*/\sin\delta$) debe ser al menos de 1.00 kPa. Pero este requerimiento debe cumplirse a mayores temperaturas si el ligante se usa en climas cálidos (Ver tabla 3.9).

Otro aspecto clave en la evaluación de ligantes con el sistema Superpave es que las propiedades físicas son medidas sobre ligantes que han sido envejecidos en laboratorio para simular las condiciones de envejecimiento en un pavimento real.

Tabla 3.9. **ESPECIFICACIÓN SUPERPAVE DE LIGANTES ASFÁLTICOS**
Especificación del grado de Performance del Ligante

Grado de performance (PG = Performance Grade)	PG 52				PG 58				PG 64				PG 70								
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Temperatura de diseño del pavimento promedio 7 días máximo, °C	<52				<58				<64				<70								
Temperatura mínima de diseño del pavimento. °C	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28
Ligante Original																					
Temp. del Punto de Inflamación, T48: Mín., °C	230																				
Viscosidad, ASTM 4402: ^b Máx, 3 Pas (3000cP) Temp. ensayo, °C	135																				
Corte Dinámico, TP5: ^c G ⁰ /senδ, mín., 1.0 kPa Temp. ensayo @ 10rad/s, °C	52				58				64				70								
Residuo del ensayo de Película Delgada Rotatoria (T 240) o Película Delgada (T 179)																					
Pérdida de masa, Máx. %	1.00																				
Corte Dinámico. TP5, ^e G*/senδ. Min 2.20 KPa Temp. ensayo @ 10rad/s, °C	52				58				64				70								
Residuo de la Vasija de Envejecimiento a Presión (PAV)																					
Temp. de Envejecimiento PAV °C	90				100				100				100(110)								

Continuación Tabla 3.9. **ESPECIFICACION SUPERPAVE DE LIGANTES ASFÁLTICOS**
Especificación del grado de performance del ligante

Corte Dinámico, TP5: ^e (G*).senđ. Máx. 5000 KPa Temp. ensayo @ 10rad/s, °C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16	34	31	28	25
Endurecimiento Físico ^d	Reporte																				
Creep Stiffness. TP1: ^f S. Máx., 300 Mpa Valor m. Min., 0.300 Temp. Ensayo, @ 60 seg., °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18
Tracción Directa. TP3: ^f Deformación en la falla, Min. 1.0% Temp. Ensayo @1.0 mm/min., °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18

- La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire utilizando un algoritmo de software de Superpave o podría ser provista por la agencia.
- Este requerimiento puede obviarse a criterio de la agencia si el proveedor garantiza que el ligante asfáltico puede ser adecuadamente bombeado y mezclado a temperaturas que cumplan con las normas de seguridad.
- Para el control de calidad de la producción de un cemento asfáltico no modificado, las mediciones de la viscosidad del cemento asfáltico original pueden sustituir a las mediciones de corte dinámico $G^*/\text{senđ}$ a las temperaturas de ensayo para las cuales el asfalto es un fluido newtoniano. Cualquier adecuado medio estándar de medición de la viscosidad puede usarse, incluyendo capilaridad o viscosímetro rotacional (AAASHTO T 201 o T 202).
- La temperatura de envejecimiento del PAV se basa en la simulación de las condiciones del clima y puede ser 90 °C, 100°C, ó 110°C. la temperatura de envejecimiento del PAV es de 100°C para PG 58 y superiores, excepto en climas desérticos, donde es de 110°C.
- El endurecimiento físico –TP-1 es ejecutado sobre un conjunto de vigas de asfalto, con la excepción de que el tiempo de acondicionamiento se extiende a 24 h \pm 10 minutos a 10°C por encima de la temperatura mínima de performance, el stiffness a las 24 h y el valor m son registrados sólo como información.
- Si el stiffness de creep es menor de 300 MPa, el ensayo de tracción directa no es necesario. Si el stiffness de creep está entre 300 y 600 MPa el requerimiento de la falla por deformación a tracción directa puede ser usado en lugar del requerimiento del stiffness en creep. El valor m exigido debe satisfacer en ambos casos.

Fuente: BACKGROUND OF SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN AND ANALYSIS, National Asphalt Training Center, Publicación N° FHWA-SA-95-003

3.6.3.3 Pruebas de Laboratorio

Las propiedades físicas de los ligantes son medidas con 4 dispositivos:

- Reómetro de corte dinámico (DSR= *dynamic shear rheometer*)
- Viscosímetro rotacional (RV= *rotational viscometer*)
- Reómetro de flexión (BBR= *bending beam rheometer*)
- Ensayo de tracción directa (DTT= *direct tension test*)

a) El reómetro de corte dinámico (DSR).

Se emplea para caracterizar las propiedades visco-elásticas del ligante. Mide el módulo complejo en corte (G^*) y el ángulo de fase (δ), sometiendo a una muestra pequeña de ligante a tensiones de corte oscilante. La muestra está colocada entre 2 platos paralelos, como en un sándwich (Fig.3.9).

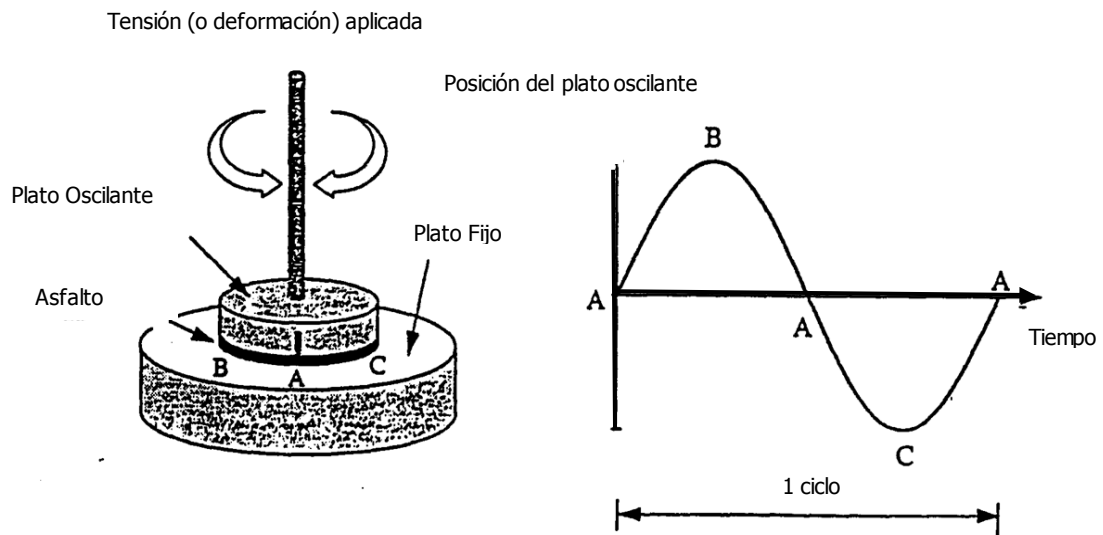


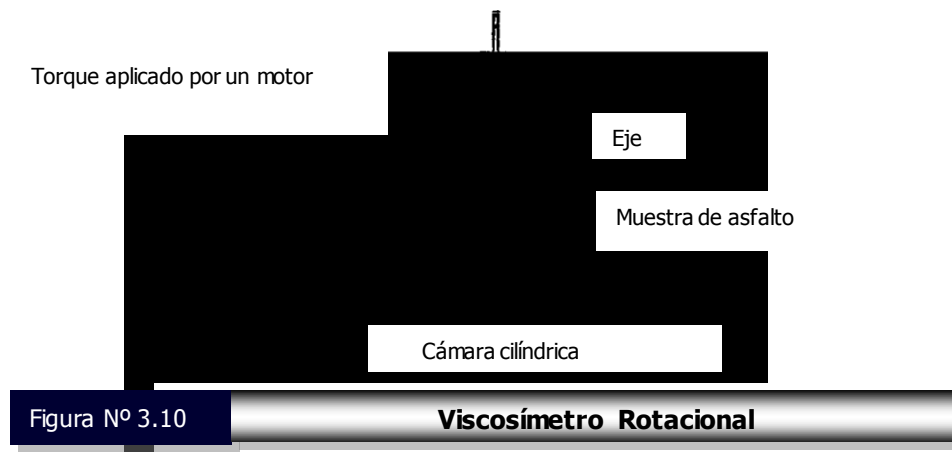
Figura N° 3.9

Reómetro de corte Dinámico

Controlando el stiffness a altas temperaturas, la especificación de ligantes garantiza que el asfalto provea su mayor aporte a la resistencia global al corte de la mezcla en términos de la elasticidad a altas temperaturas. Así mismo, la especificación asegura que el ligante no contribuya a la fisuración por fatiga al limitar su stiffness a temperaturas intermedias.

b) El viscosímetro rotacional (RTV).

Caracteriza al stiffness del asfalto a 135 °C, temperatura a la cual actúa casi enteramente como un fluido. Consiste en un cilindro rotacional coaxial, que mide la viscosidad por medio del torque requerido para rotar un eje (*spindle*), sumergido en una muestra de asfalto caliente (Figura 3.10) a una velocidad constante. La especificación de ligantes requiere una viscosidad menor de 3 Pa•s. Esto garantiza un asfalto bombeable y manejable durante la elaboración de la Mezcla Asfáltica en Caliente.



c) El reómetro de flexión (BBR).

Se usa para caracterizar las propiedades del stiffness (Rigidez) de los ligantes a bajas temperaturas. Mide el stiffness en "creep" (carga constante, S) y el logaritmo de la velocidad de deformación en "creep" (m).

Estas propiedades se determinan midiendo la respuesta de una probeta de ligante, en forma de pequeña viga, sometida a un ensayo de "creep" a bajas temperaturas (Figura N° 3.11). Conociendo la carga aplicada a la viga y la deflexión durante todo el ensayo, el stiffness en creep puede ser calculado usando conceptos de ingeniería de materiales. La especificación fija límites al stiffness en creep y al valor de m dependiendo del clima en el cual el ligante estará en servicio. Los ligantes con un bajo stiffness en creep no se fisurarán en tiempos fríos. Igualmente, ligantes con altos valores de m son más efectivos en la relajación de tensiones que se desarrollan en la estructura de pavimentos asfálticos cuando la temperatura desciende, asegurando un mínimo fisuramiento por baja temperatura.

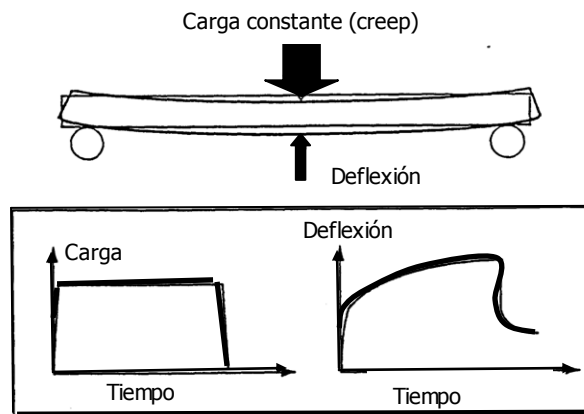


Figura N° 3.11

Reómetro de corte Dinámico

d) Ensayo de tensión directa (Direct Tensile Test).

El DTT provee la deformación específica de falla (rotura) en tracción, medida sobre una muestra pequeña de forma de hueso de perro que es estirada a bajas temperaturas hasta que se corta (Figura N° 3.12). Al igual que el BBR, el DTT asegura, para una dada baja temperatura, la máxima resistencia del ligante a la fisuración.

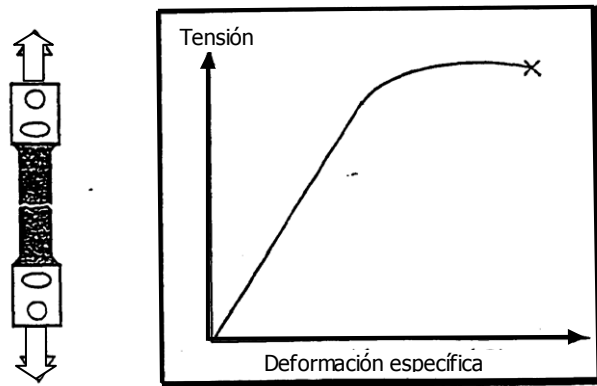


Figura N° 3.12

Ensayo de Tracción Directa

3.6.3.4 Agregados Minerales

Los desarrolladores del Superpave también creyeron que el agregado mineral juega un rol clave en el desempeño de la Mezcla Asfáltica en Caliente. Si bien no desarrollaron ningún nuevo procedimiento para ensayar agregados, sí refinaron los procedimientos existentes para adaptarlos al sistema Superpave. Dos tipos de propiedades de los agregados se especifican en el sistema Superpave:

propiedades de consenso (*consensus properties*) y propiedades de origen del agregado (*source properties*).

Las propiedades de consenso son aquellas consideradas críticas para alcanzar un elevado desempeño de la Mezcla Asfáltica en Caliente. Estas propiedades deben satisfacerse en varias escalas, dependiendo del nivel del tránsito y de la posición en el paquete estructural del pavimento (Ver tabla N° 3.10 - 3.13). Altos niveles de tránsito y mezclas para la carpeta de rodamiento (posición superior en el paquete estructural del pavimento) requieren valores más estrictos para las propiedades de consenso. Estas propiedades son:

- Angularidad del agregado grueso,
- Angularidad del agregado fino,
- Partículas alargadas y chatas, y
- Contenido de arcilla.

Especificando la angularidad de los gruesos y finos, los investigadores de SHRP buscaban lograr una Mezcla Asfáltica en Caliente con un alto ángulo de fricción interna y así, una alta resistencia al corte y por ende una alta resistencia al ahuellamiento.

Limitando las partículas alargadas se asegura que los agregados de la Mezcla Asfáltica en Caliente serán menos susceptibles a fractura durante el manipuleo,

construcción y bajo tránsito. Limitando la cantidad de arcilla en el agregado, la unión entre el ligante asfáltico y el agregado es fortalecida y mejorada.

REQUERIMIENTOS DE SUPERPAVE PARA LAS PROPIEDADES DE CONSENSO DEL AGREGADO¹

Tabla N° 3.10. ANGULARIDAD DEL AGREGAD GRUESO

TRANSITO, EN 10 ⁶ ESALS	PROFUNDIDAD DESDE LA SUPERFICIE	
	< 100mm	> 100mm
< 0.3	55/-	-/-
< 1	65/-	-/-
< 3	75/-	50/-
< 10	85/80	60/-
< 30	95/90	80/75
< 100	100/100	95/90
≥ 100	100/100	100/100

NOTA: "85/80" significa que 85% del agregado grueso tiene una sola cara fracturada y 80% tiene dos caras fracturadas

Tabla N° 3.11. ANGULARIDAD DEL AGREGAD FINO

TRANSITO, EN 10 ⁶ ESALS	PROFUNDIDAD DESDE LA SUPERFICIE	
	< 100mm	> 100mm
<0.3	-	-
<1	40	-
<3	40	40
<10	45	40
<30	45	40
<100	45	45
≥100	45	45

NOTA: los valores se presentan como porcentaje de vacíos de aire en el agregado fino ligeramente compactado.

¹ Fuente: BACKGROUND OF SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN AND ANALYSIS, National Asphalt Training Center, Publicación N° FHWA-SA-95-003

Tabla N° 3.12. PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS*

TRANSITO, EN 10 ⁶ ESALs	MAX. PORCENTAJE EN PESO
<0.3	40
<1	40
<3	40
<10	45
<30	45
<100	50
≥100	50

Tabla N° 3.13. CONTENIDO DE ARCILLA*

TRANSITO, EN 10 ESALs	EQUIVALENTE DE ARENA, % MIN.
<0.3	40
<1	40
<3	40
<10	45
<30	45
<100	50
≥100	50

*Fuente: BACKGROUND OF SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN AND ANALYSIS, National Asphalt Training Center, Publicación N° FHWA-SA-95-003

Las propiedades de origen del agregado son aquellas utilizadas frecuentemente por las agencias para calificar las fuentes locales de agregados. Los investigadores de SHRP creyeron que el cumplimiento de estas propiedades era importante, pero no especificaron valores críticos ya que ellas son muy específicas de la fuente de origen. Las propiedades de origen del agregado son:

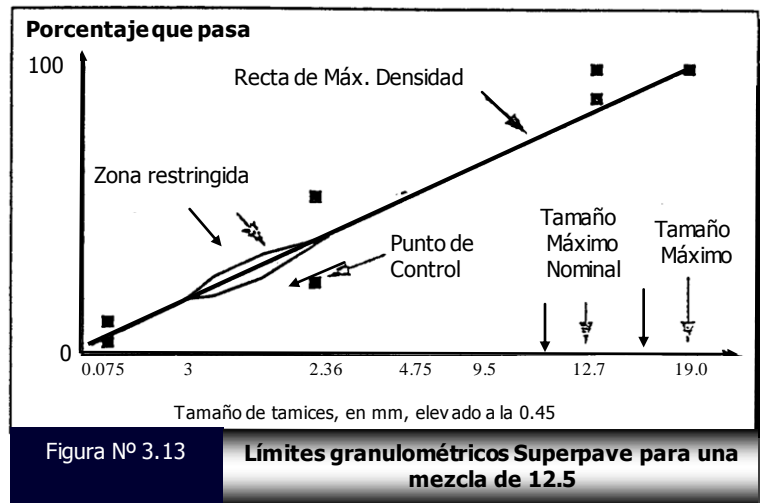
- Tenacidad,

- Durabilidad, y
- Materiales deletéreos.
- La tenacidad se mide con el ensayo Los Ángeles de abrasión.
- La durabilidad se mide con el ensayo de durabilidad por acción del sulfato de sodio o magnesio.

La presencia de materiales deletéreos se mide con el ensayo de determinación de terrones de arcilla y el de partículas friables.

3.6.3.5 Método del exponente 0.45

Para especificar la gradación del agregado (Tablas N° 3.14 – 3.18), los investigadores de SHRP depuraron una propuesta ya en amplio uso por muchas agencias,

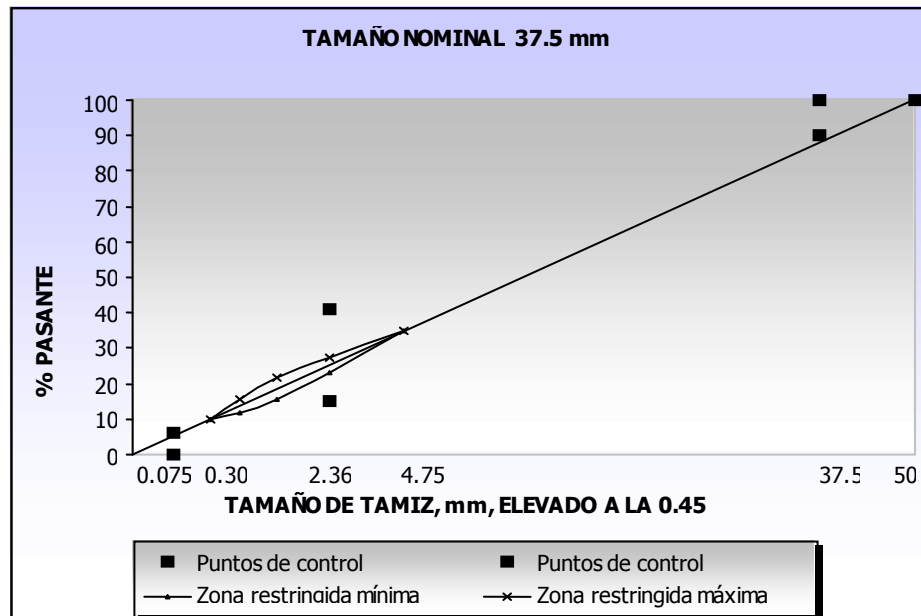


conocida comúnmente como la del "exponente 0.45". Esta consiste en elevar al exponente 0.45 los valores de las aberturas de tamices, en el gráfico de granulometría, y especificar unos límites (puntos) de control y una zona restringida (Fig. N° 3.13). Con estos elementos, se desarrolla un diseño de estructura del agregado.

REQUERIMIENTOS DE SUPERPAVE PARA LA GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Tabla N° 3.14. TAMAÑO NOMINAL 37.5 mm²

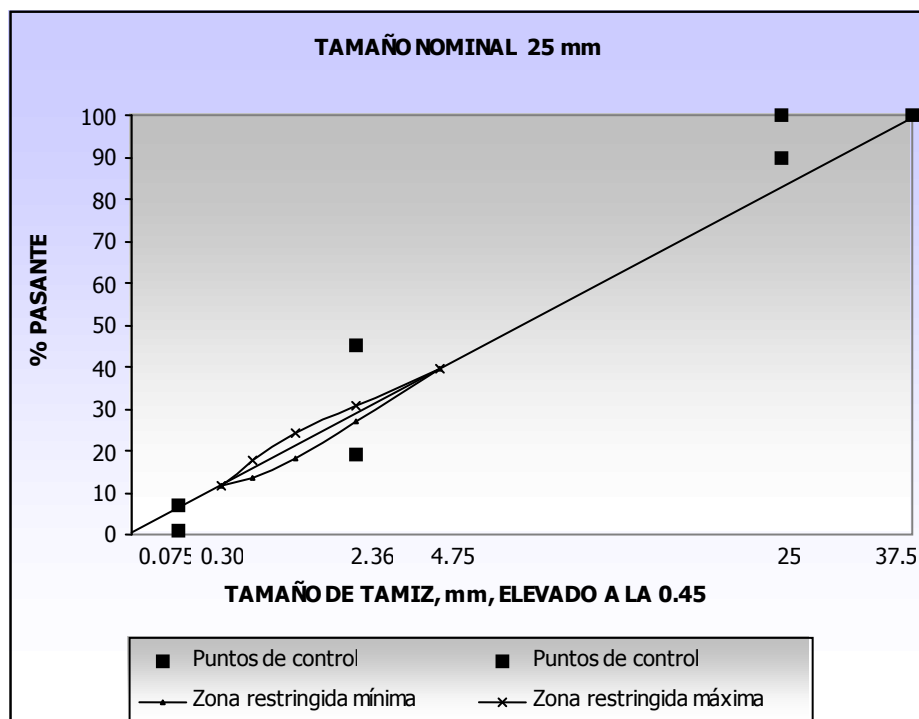
Tamiz, mm	Puntos de control		Zona restringida	
			Mínimo	Máximo
50.0		100		
37.5	90	100		
25.0				
19.0				
12.5				
9.5				
4.75			34.7	34.7
2.36	15	41	23.3	27.3
1.18			15.5	21.5
0.6			11.7	15.7
0.3			10	10
0.15				
0.075	0	6		



² Fuente: BACKGROUND OF SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN AND ANALYSIS, National Asphalt, Training Center, Publicación N° FHWA-SA-95-003

Tabla N° 3.15. TAMAÑO NOMINAL 25 mm³

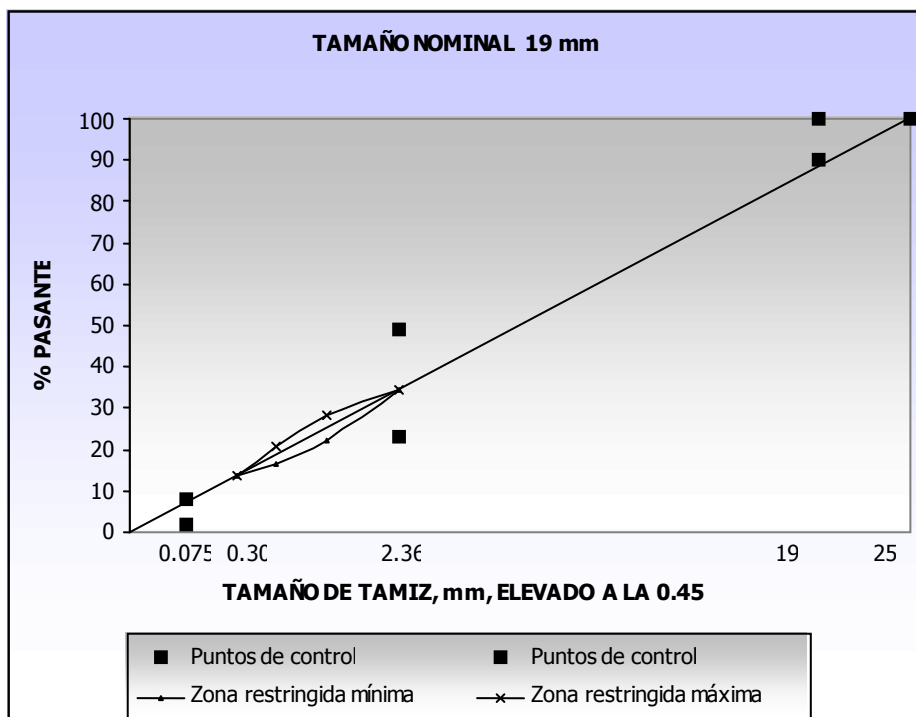
Tamiz, mm	Puntos de control		Zona restringida	
			Mínimo	Máximo
37.5		100		
25	90	100		
19				
12.5				
9.5				
4.75			39.5	39.5
2.36	19	45	26.8	30.8
1.18			18.1	24.1
0.6			13.6	17.6
0.3			11.4	11.4
0.15				
0.075	1	7		



³ Fuente: BACKGROUND OF SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN AND ANALYSIS, National Asphalt Training Center, Publicación N° FHWA-SA-95-003

Tabla N° 3.16. TAMAÑO NOMINAL 19 mm⁴

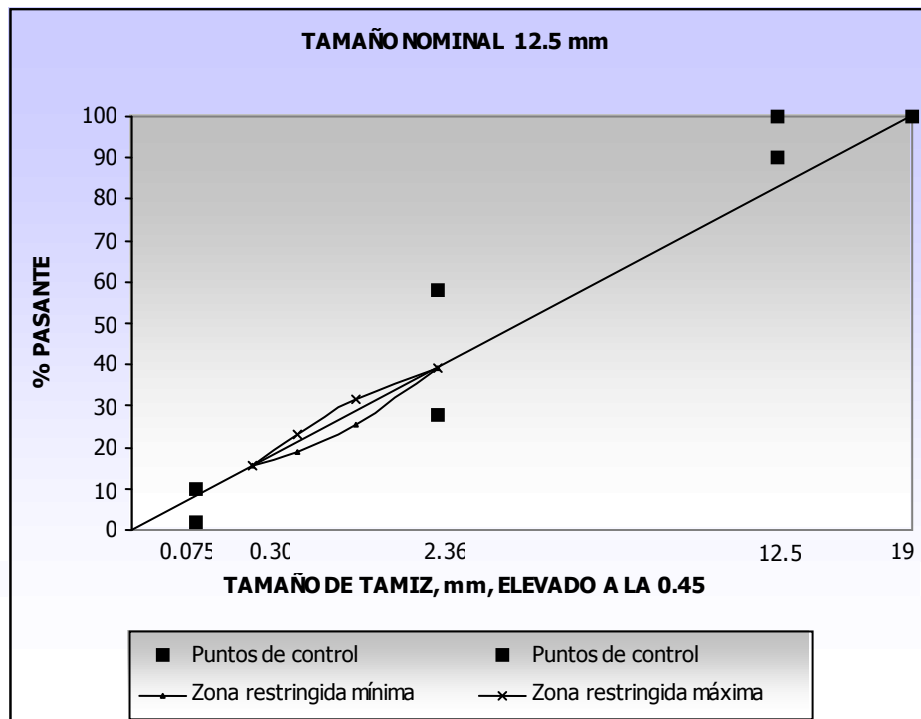
Tamiz, mm	Puntos de control		Zona restringida	
			Mínimo	Máximo
25		100		
19	90	100		
12.5				
9.5				
4.75				
2.36	23	49	34.6	34.6
1.18			22.3	28.3
0.6			16.7	20.7
0.3			13.7	13.7
0.15				
0.075	2	8		



⁴ Fuente: BACKGROUND OF SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN AND ANALYSIS, National Asphalt Training Center, Publicación N° FHWA-SA-95-003

Tabla N° 3.17. TAMAÑO NOMINAL 12.5 mm⁵

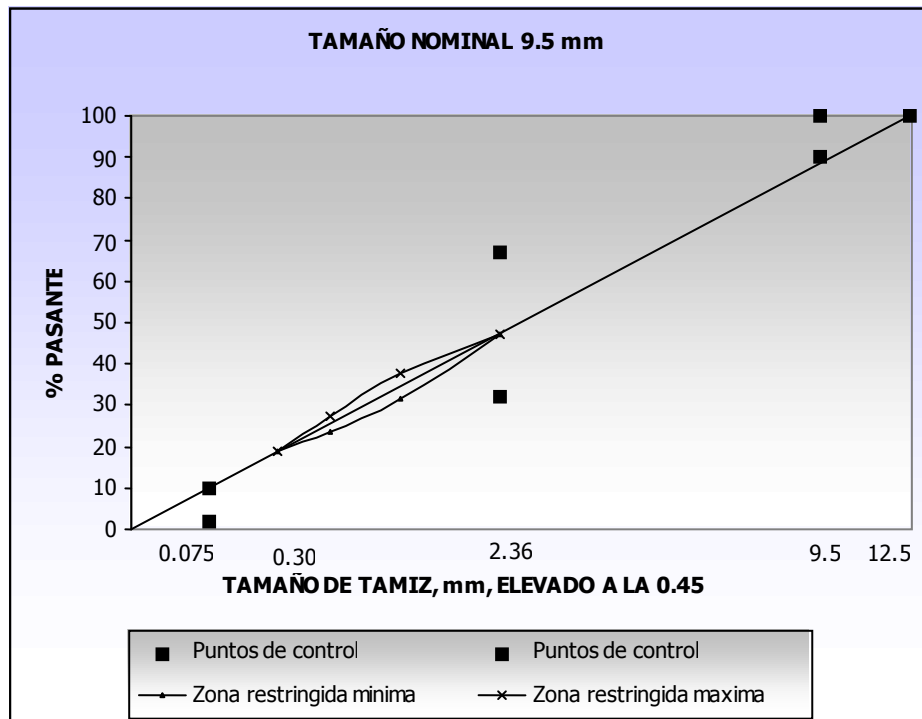
Tamiz, mm	Puntos de control		Zona restringida	
			Mínimo	Máximo
19		100		
12.5	90	100		
9.5				
4.75				
2.36	28	58	39.1	39.1
1.18			25.6	31.6
0.6			19.1	23.1
0.3			15.5	15.5
0.15				
0.075	2	10		



⁵ Fuente: BACKGROUND OF SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN AND ANALYSIS, National Asphalt Training Center, Publicación N° FHWA-SA-95-003

Tabla N° 3.18. TAMAÑO NOMINAL 9.5 mm⁶

Tamiz, mm	Puntos de control		Zona restringida	
			Mínimo	Máximo
12.5		100		
9.5	90	100		
4.75				
2.36	32	67	47.2	47.2
1.18			31.6	37.6
0.6			23.5	27.5
0.3			18.7	18.7
0.15				
0.075	2	10		



⁶ Fuente: BACKGROUND OF SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN AND ANALYSIS, National Asphalt Training Center, Publicación N° FHWA-SA-95-003

El diseño de la estructura del agregado del Superpave debe pasar entre los puntos de control evitando la zona restringida de la figura N° 3.13. La graduación de máxima densidad se dibuja desde el pasante 100% del tamaño máximo del agregado al origen.

El tamaño máximo nominal se define como un tamaño mayor que el correspondiente a la medida del primer tamiz que retiene más del 10%.

El tamaño máximo del agregado se define como un tamaño mayor que el tamaño del agregado máximo nominal.

La zona restringida es usada por SHRP Superpave para evitar mezclas con alta proporción de arenas finas en relación al total de arena, y para evitar graduaciones que siguen la línea del exponente 0.45, las cuales normalmente carecen de una adecuada cantidad de vacíos del agregado mineral (VAM, o VMA en inglés). En muchos casos, la zona restringida desalentará el uso de arenas finas naturales en una mezcla de agregados. Esto alentarán el uso de arenas limpias procesadas.

La estructura de agregados diseñada asegura que el agregado desarrollará un esqueleto granular fuerte mejorando la resistencia a la deformación permanente a la vez que permite un suficiente volumen de vacíos para garantizar la durabilidad de la mezcla.

3.6.3.5 Mezclas Asfálticas

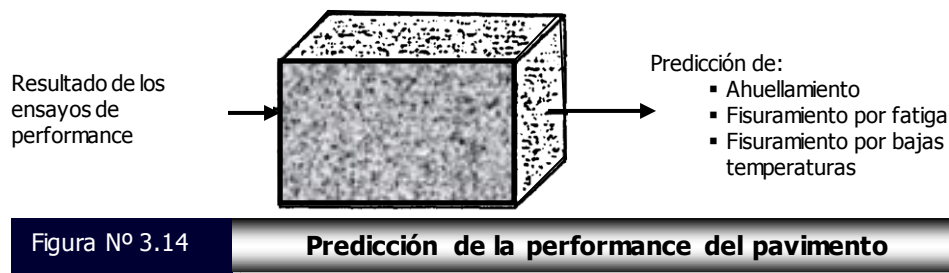
Dos aspectos claves en el sistema Superpave son la compactación en el laboratorio y los ensayos de desempeño. La compactación en laboratorio se realiza con el Compactador Giratorio Superpave (*Superpave Gyrotory Compactor, SGC*). Su principal función es compactar las probetas de ensayo. No obstante, con los datos que provee el SGC durante la compactación, un ingeniero en diseño de mezclas puede hacerse una idea de la compactabilidad de la Mezcla Asfáltica en Caliente.

El desempeño de la Mezcla Asfáltica inmediatamente después de la construcción es influida por las propiedades de la mezcla resultantes del mezclado en caliente y de la compactación. Consecuentemente, un protocolo para envejecimiento a corto plazo fue incorporado en el sistema Superpave: la mezcla suelta, antes de ser compactada por el SGC, debe ser envejecida en horno, a 135 °C, durante 4 horas.

Tal vez los ensayos basados en el desempeño y los modelos de predicción del desempeño del Concreto Asfáltica son el desarrollo más importante alcanzado a partir del programa de investigación SHRP sobre asfaltos. Los resultados de estos ensayos pueden utilizarse para hacer una predicción detallada del desempeño real de los pavimentos (Fig. N° 3.14). En otras palabras, los procedimientos de ensayo y los modelos de predicción del desempeño fueron desarrollados de modo que permitieran a un ingeniero estimar la **vida de**

servicio de una futura Mezcla Asfáltica en términos de ejes equivalentes (ESALs), o mejor dicho del lapso de tiempo necesario para alcanzar un cierto nivel de ahuellamiento, fisuramiento por fatiga o fisuramiento por baja temperatura.

Dos nuevos procedimientos de ensayos basados en el desempeño fueron desarrollados: el Ensayo de Corte Superpave (*SST = Superpave Shear Testen*) y el Ensayo de Tracción Indirecta (*IDT = Indirect Tensite Testen*). Los resultados de estos ensayos (*output*) son valores de entrada (*input*) de los modelos de predicción del desempeño en el Superpave para estimar el desempeño real de los pavimentos (p. ej.: los milímetros de ahuellamiento).



Con el SST se realizan los siguientes 6 ensayos sobre las muestras de Mezcla Asfáltica:

- Ensayo volumétrico
- Ensayo de deformación específica uniaxial
- Ensayo de corte simple a altura constante
- Ensayo de corte repetido a tensión constante
- Ensayo de barrido de frecuencias a altura constante

- Ensayo de corte repetido a altura constante (opcional).

En los primeros 2 ensayos el espécimen está sometido a una presión de confinamiento. Para esto, el SST tiene una cámara que aplica presiones de confinamiento por medio de aire comprimido. La temperatura de ensayo es también cuidadosamente controlada por medio de la cámara de ensayo. Los ensayos realizados con el SST son ejecutados a varias temperaturas para simular las temperaturas reales del pavimento. Si bien una parte de los ensayos apunta al fisuramiento por fatiga, el SST es primeramente una herramienta de diseño para evitar deformaciones permanentes.

El IDT es usado para medir el "creep compliance" y la resistencia a tracción de la Mezcla Asfáltica en Caliente. Este ensayo usa un accionador simple vertical para cargar la probeta a lo largo de su plano diametral. La caracterización de la Mezcla Asfáltica en Caliente por medio del IDT es una herramienta para el diseño contra el fisuramiento, tanto por fatiga como por baja temperatura.

En el sistema Superpave, los resultados de los ensayos de SST e IDT son inputs de los modelos de predicción del desempeño de pavimentos. Usando estos modelos, los ingenieros de diseño de mezclas pueden estimar el efecto combinado del ligante asfáltico, agregados, y proporciones de la mezcla. El modelo tiene en cuenta la estructura, condiciones, y propiedades del pavimento existente (de ser aplicables) y el volumen de tránsito al que la mezcla propuesta

estará sometida a lo largo de su vida en servicio. El resultado de los modelos se expresa en mm de ahuellamiento, porcentaje del área fisurada por fatiga, y en metros de espaciamiento de las fisuras por bajas temperaturas. Usando este enfoque, el sistema Superpave logra lo que ningún procedimiento de diseño anterior ha logrado: a saber, empalma las propiedades de los materiales con las propiedades de la estructura del pavimento para predecir el real desempeño del pavimento. De este modo, las ventajas (o desventajas) de nuevos materiales, el diseño de una mezcla diferente, asfaltos modificados, y otros productos pueden finalmente ser cuantificados en términos de costo versus desempeño.

Ya que el diseño de mezclas Superpave y su análisis es más complejo que los métodos en uso, el alcance de su uso depende del nivel del tránsito o de la clasificación funcional del pavimento para el cual se hace el diseño. En consecuencia, 3 niveles de diseño de mezclas del Superpave fueron desarrollados. Sus alcances y los ensayos requeridos se presentan en la Tabla N° 3.19.

Tabla N° 3.19. NIVELES DE DISEÑO DE MEZCLA DE SUPERPAVE

Tránsito, Esals	Niveles de Diseño	Requerimientos de Ensayo ¹
$ESALs \leq 10^6$	1	diseño volumétrico
$10^6 < ESALs \leq 10^7$	2	diseño volumétrico + ensayos de predicción del desempeño
$ESALs > 10^7$	3	diseño volumétrico + aumento de los ensayos de predicción del desempeño

¹ En todos los casos, la susceptibilidad a la humedad deben ser evaluada usando la norma AASHTO T283.

Fuente: BACKGROUND OF SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN AND ANALYSIS, National Asphalt Training Center, Publicación N° FHWA-SA-95-003

Si bien muchos de los recursos de SHRP fueron destinados al desarrollo del SST, del IDT, sus protocolos, y los modelos de predicción del desempeño, el diseño volumétrico de la mezcla ocupa un rol clave en el diseño de mezclas Superpave.

El diseño volumétrico, único requerimiento para **el diseño de mezclas del**

Nivel 1, implica la fabricación de los especímenes de ensayo usando el SGC y la selección del contenido de asfalto basado en los vacíos de aire, vacíos del agregado mineral (VAM o VMA en inglés), vacíos llenados con asfalto (VFA), y la relación polvo llenante (filler) / contenido de asfalto efectivo. Las propiedades de consenso y las propiedades de fuente de origen deben ser cumplidas.

El Nivel 2 de diseño de mezclas parte del diseño volumétrico. Una batería de ensayos SST e IDT es realizada para arribar a una serie de predicciones de performance "se acepta/no se acepta".

El Nivel 3 de diseño de mezcla abarca muchas de las facetas de los Niveles 1 y 2. Ensayos adicionales de SST e IDT se realizan en una amplia variedad de temperaturas. El diseño del Nivel 3 es el único protocolo que utiliza el ensayo de SST con muestras confinadas. Debido a que abarca un mayor rango de ensayos y resultados, el diseño del Nivel 3 ofrece un detallado mayor y por ende, un nivel de predicción del desempeño más seguro.

Nota: Ver los diferentes niveles de diseño en las Figuras N° 3.15- 3.17

ENSAYOS REQUERIDOS PARA SUPERPAVE

NIVEL 1 DE SUPERPAVE:

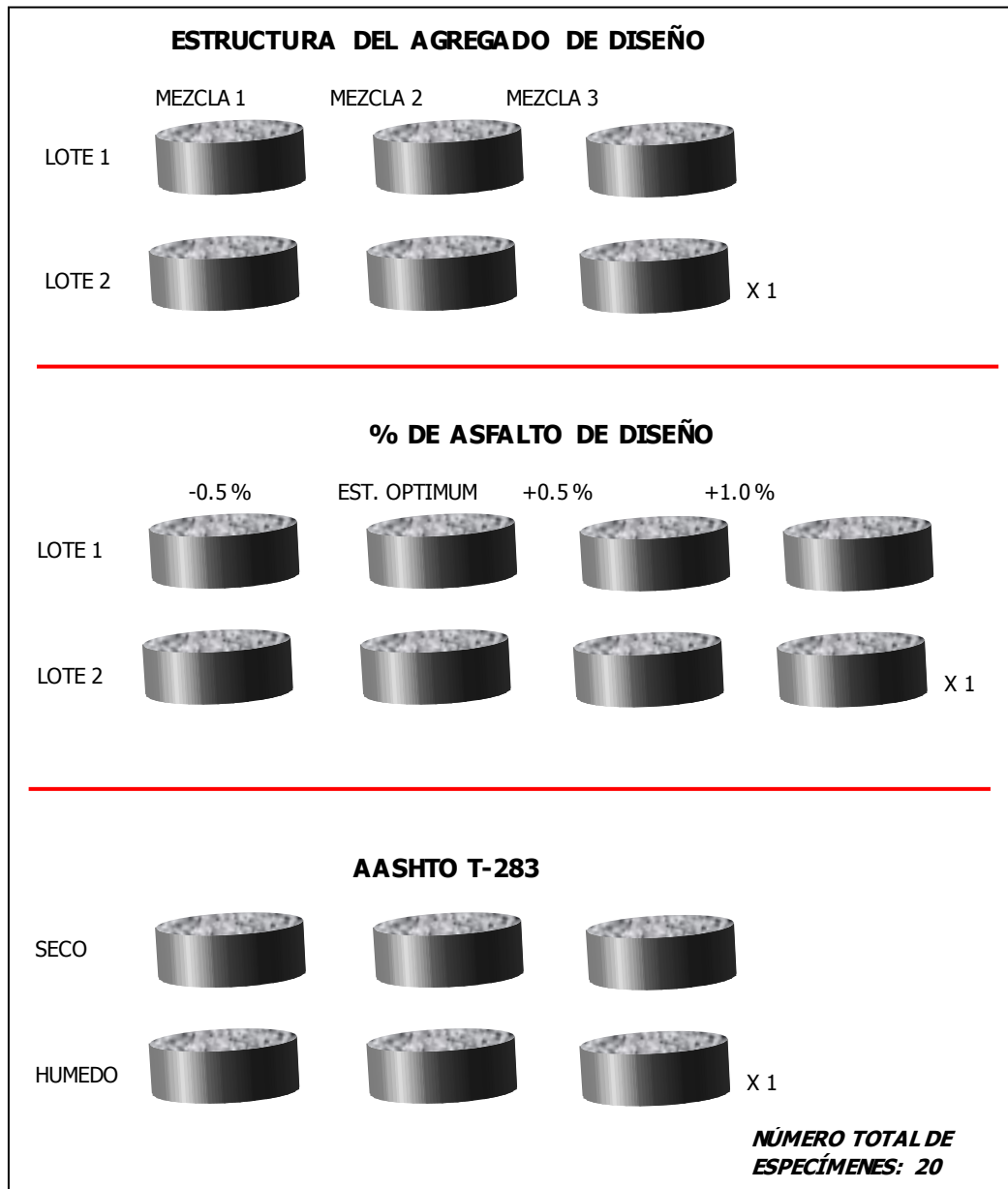


Figura Nº 3. 15

NIVEL 1 DE DISEÑO SUPERPAVE

NIVEL 2 DE SUPERPAVE:

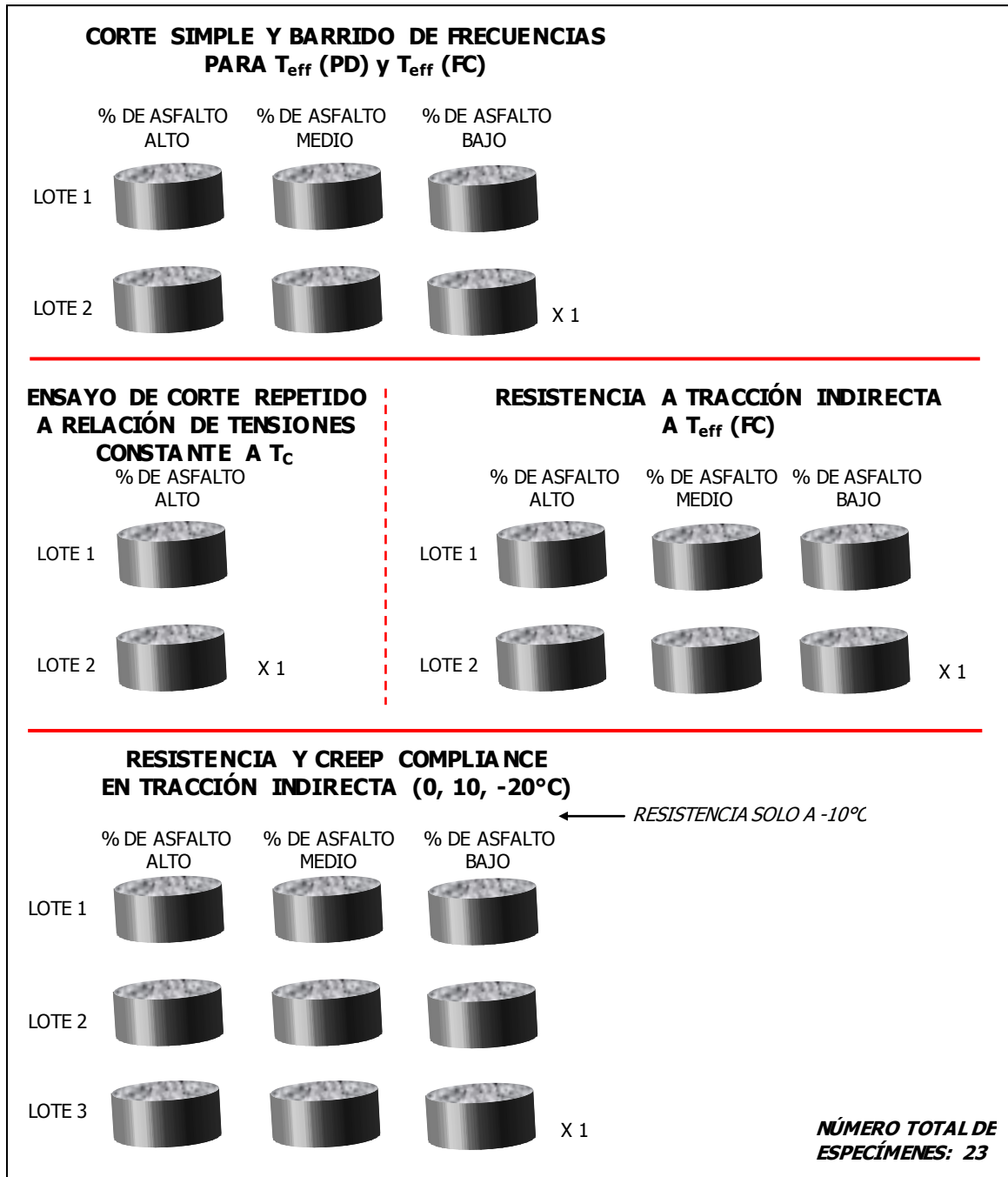


Figura Nº 3. 16

NIVEL 3 DE SUPERPAVE:

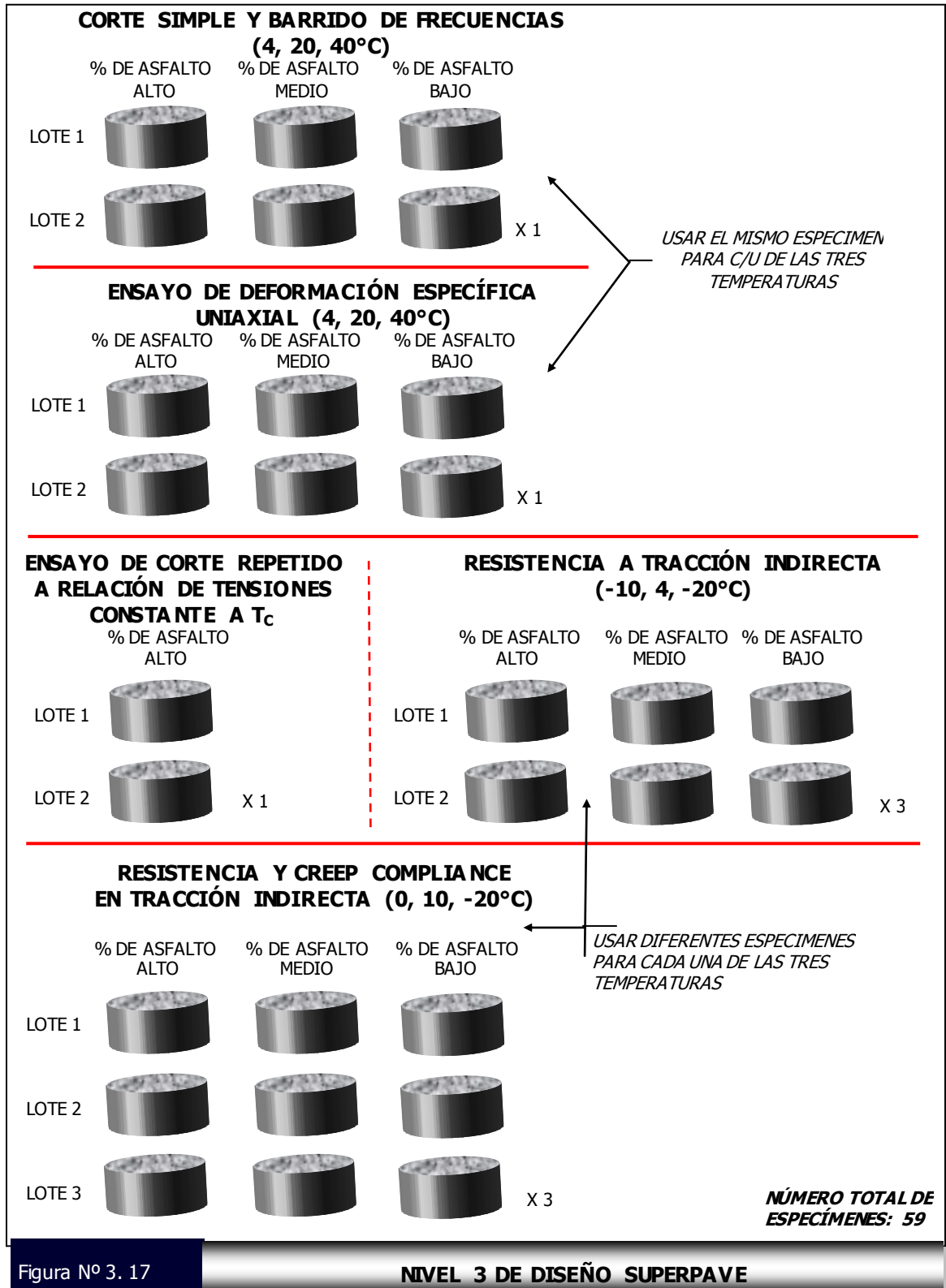


Figura Nº 3. 17

3.7 APLICACIONES DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO

Normalmente, las pruebas de diseño de mezclas tienen cuatro aplicaciones importantes en la construcción total de la obra. Estas son:

- **Pruebas del diseño preliminar**

El propósito principal de las pruebas del diseño preliminar es determinar si las posibles fuentes de agregado pueden proveer material que satisfaga las especificaciones de granulometría y de diseño de mezcla. Los resultados de estas pruebas también indican si los requisitos del diseño pueden ser, o no, obtenidos dentro del marco de las especificaciones.

- **Pruebas para aceptación de la fuente**

El principal objetivo de las pruebas para aceptación de la fuente es el de determinar la combinación mas económica que a la vez satisfaga las especificaciones de granulometría y de diseño de mezcla. Estas pruebas garantizan la selección correcta de materiales y permiten que el contratista comience a apilar los materiales en el lugar de trabajo.

- **Pruebas para control de la mezcla de obra y control rutinario.**

Las pruebas para control de la mezcla de obra determinan si la mezcla de pavimentación producida, usando la fórmula de mezcla de obra, cumple o no con las especificaciones requeridas. La fórmula de la mezcla de obra es la "receta" usada en la planta para producir la mezcla final de pavimentación. La fórmula incluye información sobre la granulometría de los materiales de

agregado y el contenido de asfalto seleccionado. Debido a que es inevitable tener variaciones durante la producción, la fórmula de mezcla de obra encierra ciertas tolerancias que permiten cambios razonables en la granulometría y en el contenido del asfalto.

Las pruebas para el control de la mezcla de obra son llevadas a cabo al comenzar la producción y calibración de la planta.

Los resultados de los ensayos son comparados con los resultados de las pruebas para control de la mezcla de obra y con las especificaciones técnicas requeridas. En aquellos instantes en donde se presenten irregularidades, y los límites de la fórmula de la mezcla de obra sean sobrepasados, será necesario hacer correcciones apropiadas en la planta, ocasionalmente, cuando la situación lo justifique, podrá ser necesario volver a evaluar y diseñar la mezcla de pavimentación.

• **Criterios para compactación de concreto asfáltico**

Generalmente se usan muestras del diseño de la mezcla, preparadas en el laboratorio, para establecer una densidad de referencia para la mezcla de compactación. Algunas muestras de la mezcla real de la planta son compactadas en el lugar de la obra, o en el laboratorio de campo, para establecer una densidad de referencia más real. Una serie de mediciones de densidad son tomadas en la sección de control, o en la franja de prueba, del pavimento terminado. Estas medidas son tomadas mediante un muestreo de núcleos o

mediante el uso de un densímetro nuclear. Las especificaciones típicas requieren que cada lote de base y superficie compactada sea aceptado cuando el promedio de cinco medidas de densidad sea igual o mayor que el 96 por ciento, y cuando ninguna medida individual sea menor que el 94%, de la densidad promedio de seis muestras preparadas en el laboratorio.

3.8 PRUEBAS DE LABORATORIO DE ACUERDO AL MÉTODO DE DISEÑO

PRUEBAS DE LABORATORIO REQUERIDOS POR EL MÉTODO MARSHALL PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.

- Estabilidad
- Flujo
- Vacíos
- Susceptibilidad a la humedad

PRUEBAS DE LABORATORIO REQUERIDOS POR EL MÉTODO HVEEM PARA CONTROL DE CALIDAD Y DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.

- Resistencia
- Cohesímetro
- Vacíos
- Susceptibilidad a la humedad.

PRUEBAS DE LABORATORIO REQUERIDOS POR EL MÉTODO DEL SUPERPAVE
PARA CONTROL DE CALIDAD Y DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.

- Reómetro de corte dinámico (DSR= dynamic shear rheometer)
- Viscosímetro rotacional (RV= rotational viscometer)
- Reómetro de flexión (BBR= bending beam rheometer)
- Ensayo de tracción directa (DTT= direct tension test)

En los tres métodos se realizan los siguientes ensayos para los Agregados:

- Angularidad del agregado grueso,
- Angularidad del agregado fino,
- Partículas alargadas y chatas, y
- Contenido de arcilla.

A las Mezclas Asfálticas por el Método SUPERPAVE se le realiza los ensayos:

- Ensayo volumétrico
- Ensayo de deformación específica uniaxial
- Ensayo de corte simple a altura constante
- Ensayo de corte repetido a tensión constante
- Ensayo de barrido de frecuencias a altura constante
- Ensayo de corte repetido a altura constante (opcional)

CAPÍTULO IV
**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES EXISTENTES

4.1 GENERALIDADES

El deterioro continuo y permanente de una vía comienza en el momento en que finaliza su construcción. El comportamiento de los pavimentos flexibles durante su vida útil, presenta tres fases básicas que pueden observarse en la tabla N° 4.1:

Tabla N° 4.1 FASES BÁSICAS	DESCRIPCIÓN
FASE DE CONSOLIDACIÓN	Fase relativamente corta. Las capas del pavimento sufren cierta consolidación, debido a las cargas transmitidas. Depende de la compactación que reciben las diversas capas durante la construcción y no debe ocurrir si ésta ha sido suficiente.
FASE ELÁSTICA:	Corresponde a la vida útil del pavimento. Durante la fase elástica no se presentan fallas generalizadas en el pavimento, salvo deformaciones y fallas locales por defectos de materiales, exceso de humedad, etc. La vida de un pavimento depende de la duración de esta fase.
FASE PLÁSTICA:	Fase final en la vida de la estructura. Las deflexiones debidas al tráfico, provocan tensiones de tracción en los revestimientos asfálticos, por lo que la capa se rompe por fatiga, a partir de lo cual se da el colapso gradual en toda la vía. La rotura por fatiga se inicia con la aparición de grietas longitudinales y la penetración de las aguas superficiales al interior del pavimento lo cual provoca el colapso de la estructura, llegando el pavimento, al final de su vida útil.

El comportamiento típico de los Pavimentos Asfálticos, se representa por medio de la gráfica N° 4.1; donde puede observarse que a mayor edad de la carpeta o mayor flujo de tráfico (ESAL`S) al que esté sometido, la flexibilidad de la misma disminuye y su capacidad para soportar las cargas producidas por el tráfico se

ve también reducida, a partir de lo cual, el deterioro en el pavimento se va agudizando cada vez más (ver gráfico 4.2 a y 4.2 b).

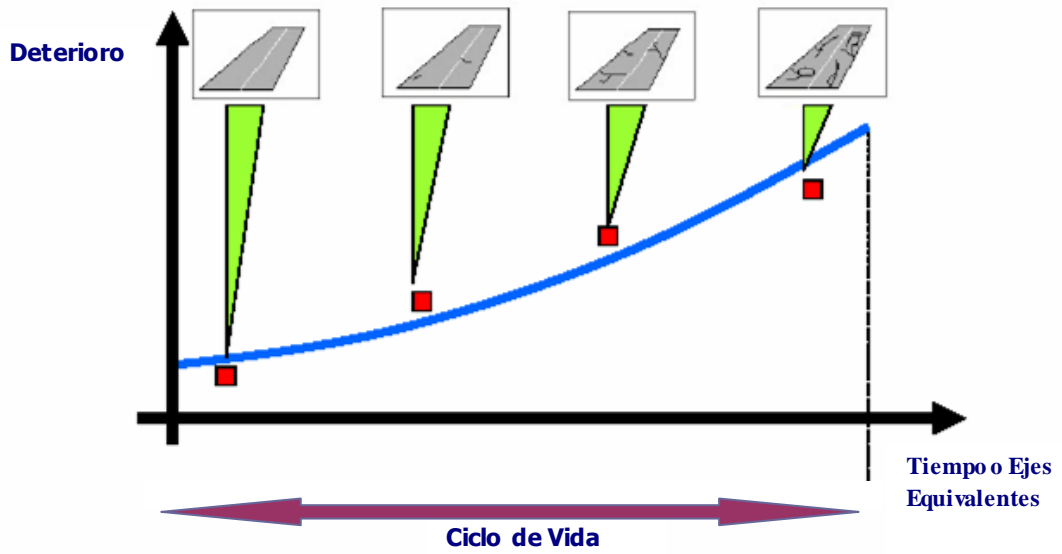
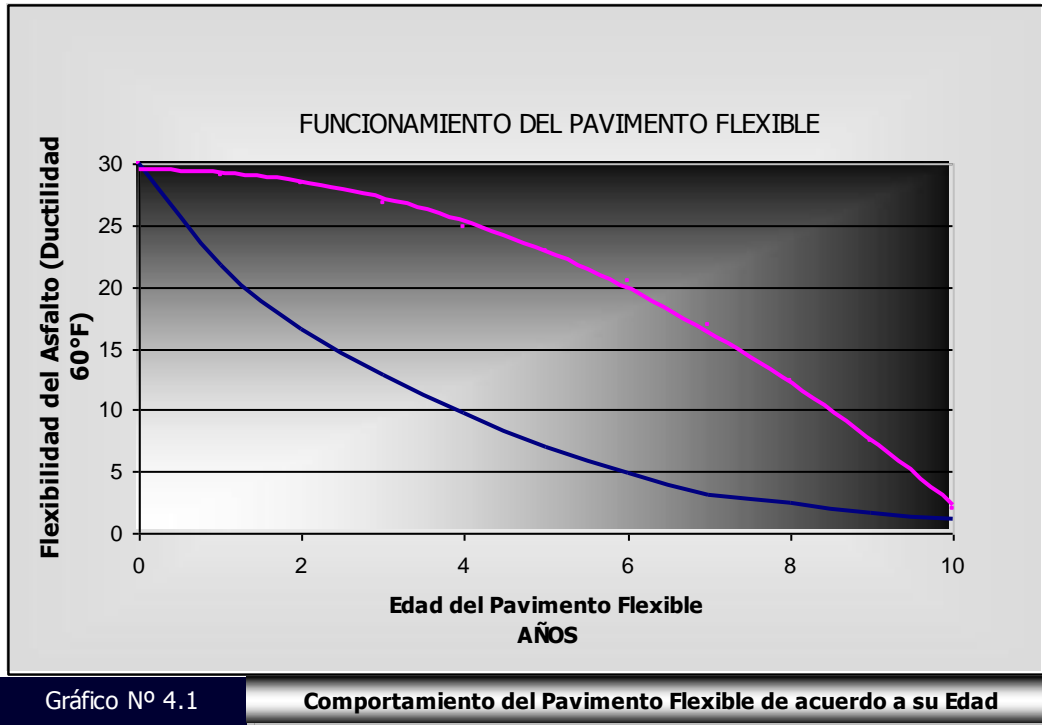


Gráfico N° 4.2 a Ciclo de Vida de un Pavimento Flexible

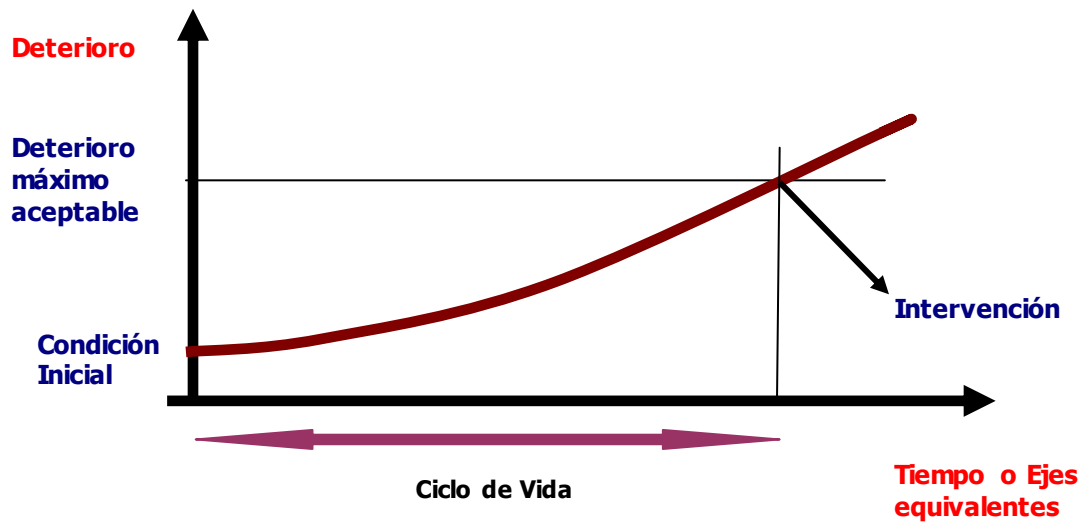


Gráfico N° 4.2 b

Evolución del deterioro de un Pavimento Flexible

Por lo que es conveniente hacer un estudio completo de las condiciones de la carpeta asfáltica existente (daños y deterioros presentes al momento de la evaluación), y de los factores relacionados antes de iniciar un proyecto de recarpeteo, evaluando factores importantes como los siguientes:

- Datos del pavimento (espesores de capa, tipo de material utilizado para su construcción, etc.)
- Condiciones funcionales (Inspección Visual, Índice de Regularidad Superficial, etc.)
- Condiciones estructurales (Módulo Resiliente, Número Estructural, etc.)
- Características del tránsito actual
- Relación del diseño con la seguridad y la operación suficiente del tránsito esperado

Para evaluar e investigar los daños en un pavimento es necesario que se conozcan los factores que los originan. Se pueden mencionar cuatro categorías que han sido identificadas para todos los tipos de pavimentos, las que están relacionadas a cargas, temperatura, humedad y edad.

A- DAÑOS DEBIDOS AL FACTOR CARGA

Las cargas en los pavimentos flexibles pueden generar fatiga y deformaciones permanentes.

El Fenómeno de Fatiga se refiere a un proceso progresivo en donde una capa confinada de la estructura del pavimento sobrelleva tantas aplicaciones repetidas de presión que eventualmente se agrietan.

La presencia de grietas de fatiga es una indicación de la pérdida de capacidad estructural del pavimento.

B - DAÑOS DEBIDOS AL FACTOR TEMPERATURA

El factor temperatura origina grietas térmicas.

C - DAÑOS DEBIDOS AL FACTOR HUMEDAD

La humedad causa la pérdida de la resistencia al esfuerzo en la estructura del pavimento, y también origina el desprendimiento de los agregados con el asfalto. La humedad puede ser el factor más influyente en el funcionamiento del

pavimento, ya que puede penetrar a la estructura del pavimento a través de grietas y hoyos en la superficie, lateralmente a través del suelo de la subrasante y de la acción de la capilaridad cuando la tabla de agua se encuentra superficial.

D - DAÑOS DEBIDOS AL FACTOR EDAD

En pavimentos flexibles solo hay un mecanismo relacionado a la edad, esto es, Oxidación, la exposición prolongada de una capa de mezcla asfáltica a rayos ultravioleta del sol, causa oxidación al asfalto, pierde sus aromáticos y llega a ser duro y más susceptible al agrietamiento.

4.2 TIPOLOGÍA DE DAÑOS

El estudio de mantenimiento y de rehabilitación de una carretera, requiere efectuar un inventario visual de daños sobre la superficie del pavimento, esto se hace previamente a los estudios, ya que de los resultados obtenidos del inventario de daños pueden obtenerse una serie de conclusiones para el desarrollo del trabajo de conservación.

Al llevar a cabo la identificación de daños y el registro de los mismos se abordan problemas, tales como la forma de recolección y procesamiento de la información de campo y el establecimiento de una terminología uniforme para identificar determinado tipo de daño. Generalmente las fallas se clasifican en cuatro grupos principales que son:

El agrietamiento, la deformación, la desintegración y el resbalamiento o superficie de rodamiento lisa; éstas afectan la estructura del pavimento, la comodidad del usuario, aumenta los costos de mantenimiento y operación vehicular e inhabilita el funcionamiento de la carretera. Además, otras fallas del pavimento pueden ser ocasionadas por un sistema de drenaje inadecuado, defectos del suelo de fundación (asentamiento) y localización de la vía (desconformación de la sección).

Para un conocimiento más detallado y específico sobre estas fallas, La Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), ha elaborado un documento llamado: Catálogo de Daños en Pavimentos, el cual es una guía práctica de clasificación, evaluación, medición, y tratamiento de daños típicos, convenido por todos los organismos miembros de la SIECA, la que además presenta una descripción detallada de cada uno de los términos utilizados para analizar los deterioros en los pavimentos flexibles (Ver tabla N° 4.2).

Daños en términos generales:

Tabla N° 4.2 TIPO	DESCRIPCION*
Fractura (Fracture):	Abertura larga de ancho pequeño en el pavimento.
Fisura (Fissure):	Fractura fina, por lo general con un ancho igual o menor a 3 mm.
Grieta (Crack):	Fractura, por lo general con ancho mayor de 3 mm.
Fisura Piel de Cocodrilo (Alligator Cracking):	Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio de 30 mm.
Fisuras en Bloque (Block Cracking):	Fisuras interconectadas, formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm con un área variable de 0.1 a 9.0 m ² .
Fisura en Arco (Arc Cracking):	Fisuras interconectadas, formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm con un área variable de 0.1 a 9.0 m ² .
Fisura Transversal (Transverse Cracking):	Fracturas de longitud variable que se extienden a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera.
Fisura Longitudinal (Longitudinal Cracking):	Fracturas de longitud variable que se extienden a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera.
Fisura por Reflexión de Junta (Reflective Cracking):	Fisuras o grietas que se observan en la superficie de sobrecapas que tienden a reproducir las fallas y juntas que se producen en la capa de abajo.
Ahuellamiento (Rutting):	Depresión longitudinal continua a lo largo del rodamiento del tránsito, de longitud mínima de 6.0 m.
Corrimiento (Shoving):	Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañadas por levantamientos de material, formando cordones laterales.
Corrugación (Corrugations):	Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1.0 metro entre ellas, a lo largo del pavimento.
Hinchamiento (Bumps):	Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.
Hundimiento (Depression):	Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada.
Bache (Pothole):	Desintegración total de la superficie de rodadura, que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

Continua

Cont. Tabla N° 4.2 TIPO	DESCRIPCION*
Peladura (Stripping):	Desintegración superficial de la capa de la carpeta asfáltica.
Desintegración de Bordes (Edge Distress):	Consiste en la progresiva destrucción de los bordes del pavimento.
Exudación de Asfalto (Bleeding of Bitumen):	El afloramiento del ligante de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento formando una película continua de bitumen.
Parche (Patch):	Área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente.

*Fuente: Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales, Nomenclatura y Definición de Fallas Pág. N° 5 y 6 de SIECA.

A continuación se realiza una descripción detallada de cada uno de los Daños que suelen presentar los pavimentos flexibles (tomado del Catálogo de Daños de la SIECA) Ver tabla N° 4.3:

Tabla Nº 4.3

FISURAS Y GRIETAS**Fisura Piel de Cocodrilo****DESCRIPCIÓN:**

Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con un diámetro promedio menor a 30 cm.

El fisuramiento empieza en la parte inferior de las capas asfálticas, donde las tensiones y deformaciones por tracción alcanzan su valor máximo, cuando el pavimento es solicitado por una carga. Las fisuras se propagan a la superficie, inicialmente, como una serie de fisuras longitudinales paralelas; luego por efecto de la repetición de las cargas, evolucionan interconectándose y formando una malla cerrada, que asemeja el cuero de un cocodrilo. Ocurren necesariamente en áreas sometidas al tránsito, como las huellas de canalización del tránsito. Si la base y la sub-base son débiles, el fisuramiento será acompañado por ahuellamientos. Cuando el drenaje es inadecuado, el fisuramiento se presentará en primera estancia, en las huellas de canalización exteriores. En su etapa final, el agrietamiento se transforma en bache. La misma sección del pavimento presentara fisuras y grietas de cocodrilo, ahuellamiento y baches.

POSIBLES CAUSAS:

Son causadas por la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito. Por lo general, el fisuramiento indica que el pavimento ya no tiene capacidad estructural de sostener las cargas de tránsito y ha llegado al fin de su vida útil. El ligante por lo general ha envejecido y por ende ha perdido la flexibilidad de sostener cargas repetidas al tránsito sin agrietarse.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo)

Fisuras muy finas, menores de 2 mm de ancho, paralelas con escasa interconexión, dando origen a polígonos de cierta longitud; los bordes de las fisuras no presentan despostillamiento.

M (Mediano)

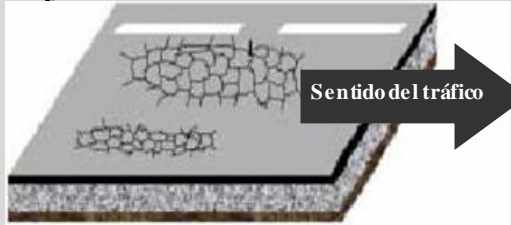
Fisuras finas a moderadas, de ancho menor a 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños y angulosos, que pueden presentar un moderado despostillamiento en correspondencia con las intersecciones.

A (Alto)

La red de fisuras ha progresado de manera de formar una malla cerrada de pequeños polígonos bien definidos, con despostillamientos de severidad moderada a alta, a lo largo de sus bordes; algunas de estas piezas pueden tener movimientos al ser sometidas al tránsito y/o pueden haber sido removidas por el mismo formando baches.

MEDICIÓN:

Las fisuras Piel de Cocodrilo se miden en metros cuadrados de superficie afectada. La mayor dificultad en la medición radica en que dos o hasta tres niveles de severidad pueden existir dentro de una misma área fallada. Si estas porciones pueden ser distinguidas fácilmente, una de otra, se miden y registran separadamente. Si los distintos niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada.

ESQUEMA Y FOTO

Continuación tabla N° 4.3

Fisuras en bloque

DESCRIPCIÓN:

Serie de fisuras interconectadas formando piezas aproximadamente rectangulares, de diámetro promedio mayor de 30 cm, con un área variable de 0.10 a 9.0 m². La fisura en bloque se presenta normalmente en una gran área del pavimento y algunas veces ocurren solamente en las áreas no afectadas por el tráfico.

POSIBLES CAUSAS:

Son causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. También suelen ocurrir en pavimentos bituminosos colocados sobre bases granulares estabilizadas o mejoradas con cemento Pórtland, que se producen a raíz de la contracción eventual de la capa estabilizada, que se reflejan en la superficie del pavimento. A menudo es difícil constatar si las fisuras y grietas son debido a contracciones producidas en la capa de rodadura o en la base y sub-base. La ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de estas grietas de contracción. También se debe a cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas con un ligante de penetración baja. Por lo general, el origen de estas fisuras no está asociado a las cargas de tráfico; sin embargo, dichas cargas incrementan la severidad de las fisuras. La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo) Existen algunas de las siguientes condiciones

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 2 mm con presencia de despostillamiento menor.
- Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condiciones satisfactorias que no permiten la filtración de agua

M (Mediano) Existen algunas de las siguientes condiciones

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 2 y 5 mm.
- Fisuras sin sellar de ancho promedio menor de 5 mm con presencia de despostillamiento menor.
- Fisura sellada de cualquier ancho, sin despostillamiento o cuando éste es breve, pero el material de sello esta en condiciones insatisfactorias.

A (Alto) Existen algunas de las siguientes condiciones:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio a 5 mm.
- Fisuras con presencia de despostillamientos severos.

MEDICIÓN:

Las fisuras en bloque se miden en metros cuadrados de superficie afectada. Normalmente ocurre a un nivel de severidad en una sección del pavimento, pero cuando se observe diferentes niveles de severidad se miden y registran separadamente, en caso que no se puedan diferenciar, la totalidad del área se califica con la mayor severidad observada.

ESQUEMA Y FOTO



Continuación tabla N° 4.3

Fisuras en arco**DESCRIPCIÓN:**

Son fisuras en forma de media luna (o más precisamente de cuarto creciente) que apuntan en la dirección de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento. Las fisuras en arco no necesariamente apuntan en el sentido del tránsito. Por ejemplo, si se frena el vehículo cuesta abajo, la dirección de la fisuras está cuesta arriba.

POSIBLES CAUSAS:

Se producen cuando los efectos de frenado o giro de las ruedas de los vehículos provocan un resbalamiento y deformación de la superficie de pavimento. Esto ocurre generalmente cuando se combinan una mezcla asfáltica de baja estabilidad y una deficiente adherencia entre la superficie y la siguiente capa de la estructura del pavimento. La falta de riego de liga, un exceso de ligante o la presencia de polvo durante la ejecución de los riegos, son factores que con frecuencia conducen a tales fallas. Asimismo, espesores de carpeta muy reducidos sobre superficies pulidas, especialmente sobre pavimentos de concreto, suelen ser causas primarias en muchos casos. La causa también puede ser un contenido alto de arena en la mezcla, sea arena de río o finos triturados.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) según las características de la fisura y el estado del pavimento que la rodea, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo) Las fisuras son de ancho promedio inferior a 3 mm.

M (Mediano) Existen algunas de las condiciones siguientes:

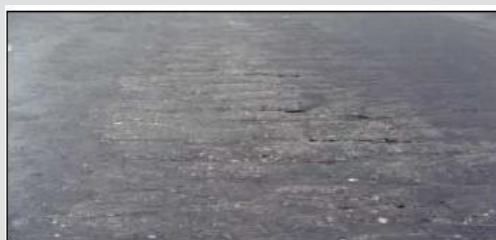
- Las fisuras son de ancho promedio entre 3 y 6 mm.
- El área alrededor de las fisuras se encuentran fracturadas por las piezas que se encuentran bien ligadas y firmes aún.

A (Alto) Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras de ancho promedio mayor de 6 mm.
- El área alrededor de las fisuras se encuentran fracturadas en trozos fácilmente removibles o que han desaparecido casi completamente.

MEDICIÓN:

El área asociada con una determinada "fisura de arco" se mide en metros cuadrados, calificándolo de acuerdo con el máximo nivel de severidad observado en dicha área. Se totalizan los metros cuadrados afectados en la sección o muestra, separadamente según el nivel de severidad.

ESQUEMA Y FOTO

Continuación tabla N° 4.3

Fisura transversal**DESCRIPCIÓN:**

Fracturación de longitud variable que se extiende a través de la superficie del pavimento, formando un ángulo aproximadamente recto con el eje de la carretera. Puede afectar todo el ancho del carril como limitarse a los 0.60 m próximos al borde del pavimento.

POSIBLES CAUSAS:

Las posibles causas incluyen:

- i. Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, debido a un exceso de filler, envejecimiento asfáltico, etc. Particularmente ante la baja temperatura y gradientes térmicos importantes.
- ii. Reflexión de grietas en la capa subyacente, incluyendo pavimentos de concreto, con excepción de la reflexión de sus juntas.
- iii. Defectuosa ejecución de las juntas transversales de construcción de las capas asfálticas de superficie

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo)

Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 3 mm sin ramificaciones.
- Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición satisfactoria.

M (Mediano)

Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm.
- Fisuras sin sellar, de ancho promedio menor de 6 mm que evidencian ramificaciones, es decir rodeadas de fisuras finas erráticas,
- Fisuras selladas, de cualquier tipo, rodeadas de fisuras erráticas.

A (Alto)

Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar de ancho promedio mayor de 6 mm.
- Cualquier fisura, sellada o no, con ramificaciones constituidas por fisuras erráticas, moderadas a severas, próximas a la misma, con tendencia a formar una malla, o bien, que evidencien un despostillamiento severo.

MEDICIÓN:

Las fisuras transversales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción evidenciando un diferente nivel de severidad, debe ser registrada separadamente. Se totaliza el número de metros lineales observados en la sección o muestra.

ESQUEMA Y FOTO

Continuación tabla N° 4.3

Fisura longitudinal

DESCRIPCIÓN:

Fracturación que se extiende a través de la superficie del pavimento, paralelamente al eje de la carretera, pudiendo localizarse en las huellas de canalización de tránsito, en el eje o en los bordes del pavimento. La ubicación de la fisura es indicativa de la causa más probable.

POSIBLES CAUSAS:

Las posibles causas incluyen:

- i. Instancias iniciales del fenómeno de fatiga por debilidad estructural, ocurren en las huellas de canalización del tránsito.
- ii. Defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción, al distribuir las mezclas asfálticas durante la construcción; ocurren en el eje y coinciden con los carriles de distribución y ensanches.
- iii. Contracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad, particularmente ante gradientes térmicos importantes.
- iv. Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento; incluyendo fisuras en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto, usualmente se presentan combinadas con fisuras transversales.
- v. Deficiente confinamiento lateral, por falta de hombros y cordones o bordillos, que provocan un debilitamiento del pavimento en correspondencia con el borde. Estas, asociadas a las cargas del tránsito, ocurren a una distancia de 0.30 a 0.60 m del borde.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras, según la siguiente guía:

B (Bajo)

Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 3 mm sin ramificaciones.
- Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición satisfactoria.

M (Mediano)

Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 3 y 6 mm.
- Fisuras sin sellar, de ancho promedio menor de 6 mm que evidencian ramificaciones, es decir rodeadas de fisuras finas erráticas,
- Fisuras selladas, de cualquier tipo, rodeadas de fisuras erráticas.

A (Alto)

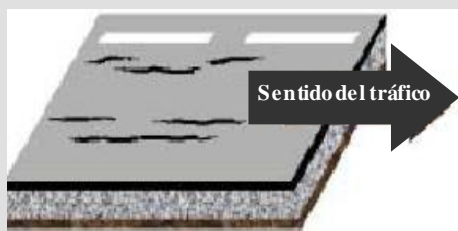
Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar de ancho promedio mayor de 6 mm.
- Cualquier fisura, sellada o no, con ramificaciones constituidas por fisuras erráticas, moderadas a severas, próximas a la misma, con tendencia a formar una malla, o bien, que evidencien un despostillamiento severo.

MEDICIÓN:

Las fisuras longitudinales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su extensión, cada porción debe evidenciar un diferente nivel de severidad que debe ser observada en la sección o muestra.

ESQUEMA Y FOTO



Continuación tabla N° 4.3

Fisura por reflexión de junta

DESCRIPCIÓN:

Se presentan sólo en pavimentos mixtos constituidos por una superficie asfáltica sobre un pavimento de concreto con juntas. Consiste en la propagación ascendente hacia la superficie asfáltica, de las juntas del pavimento de concreto. Como consecuencia, por efecto de la reflexión, se observan en la superficie fisuras longitudinales y/o transversales que tienden a reproducir las juntas longitudinales y transversales de las losas inferiores.

POSIBLES CAUSAS:

Son causadas principalmente por el movimiento de las losas de concreto, como resultado de cambios de temperaturas o cambios en los contenidos de humedad. Las grietas por reflexión se propagan dentro de la capa asfáltica, como consecuencia directa de una concentración de tensiones; asimismo, si por la aplicación de las cargas de tránsito las losas experimentan deflexiones verticales importantes en las juntas, la reflexión se produce con mayor rapidez. El tránsito puede producir la rotura de la capa asfáltica en la proximidad de las fisuras reflejadas, resultando en peladuras y eventualmente baches.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras, según la siguiente guía:

B (Bajo)

Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio inferior a 5 mm sin descascaramiento o despostillamiento de sus bordes.
- Fisuras selladas de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria; no provocan golpeteo cuando se circula en vehículo sobre el pavimento.

M (Mediano)

Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Fisuras sin sellar, de ancho promedio entre 5 y 15 mm.
- Fisuras sin sellar, hasta 5 mm de ancho y/o selladas de cualquier ancho, que evidencien leve despostillamiento de sus bordes y/o están rodeadas por fisuras erráticas leves muy próximas.
- La fisura provoca un significativo golpeteo al vehículo cuando se circula sobre el pavimento.

A (Alto)

Existen algunas de las condiciones siguientes:

- Cualquier fisura, sellada o no, rodeada por un moderado o severo agrietamiento de la superficie, o que evidencie rotura y desprendimiento de parte del material asfáltico en la proximidad de la misma.
- Fisuras sin sellar de ancho promedio mayor a 15 mm.
- La fisura provoca un severo golpeteo en el vehículo cuando se circula sobre el pavimento.

MEDICIÓN:

Las fisuras por reflexión de juntas se miden en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura se registra separadamente; se totalizan los metros lineales registrados para cada nivel de severidad en la sección.

ESQUEMA Y FOTO



Continuación tabla Nº 4.3 **DEFORMACIONES SUPERFICIALES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

Ahuellamiento

DESCRIPCIÓN: Depresión longitudinal continua a lo largo del rodamiento del tránsito, de longitud mínima de 6 m.

POSIBLES CAUSAS: Las repeticiones de las cargas de tránsito conducen a deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o en la subrasante. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores del pavimento; cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en la subrasante. Las deformaciones resultan de una compactación o movimiento lateral de los materiales (fluencia plástica o punzonamiento por corte), ambos por efecto de tránsito. El ahuellamiento indica una insuficiencia estructural del pavimento o una deficiente estabilidad del sistema subrasante-pavimento.

En algunos casos se hace más evidente cuando la mezcla asfáltica se desplaza formando un cordón a cada lado del área deprimida. Las causas posibles incluyen:

- i. Las capas estructurales pobremente compactadas.
- ii. Inestabilidad en bases y sub-bases granulares, creada por la presión del agua o saturación de la misma.
- iii. Mezcla asfáltica inestable
- iv. Falta de apoyo lateral por erosión del hombro.
- v. Capacidad estructural del pavimento con espesores deficientes de las capas que lo integran.
- vi. Técnica de construcción pobre y un bajo control de calidad.
- vii. Utilización de materiales no apropiados o de mala calidad.
- viii. La acción del tránsito (sobrecargas y altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original).
- ix. El acompañamiento por levantamientos adyacentes a los ahuellamientos, que indica que hay fallas en las capas superiores del pavimento.
- x. Estacionamiento prolongado de vehículos pesados.
- xi. Exceso de ligantes de riegos.

NIVELES DE SEVERIDAD:

La severidad del ahuellamiento se determina en función de la profundidad de la huella, midiendo ésta con una regla de 1.20 m de longitud colocada transversalmente al eje de la carretera; la medición se efectúa donde la profundidad es mayor, promediando los resultados obtenidos a intervalos de 3 m a lo largo de la huella. Se identifican tres niveles de severidad:

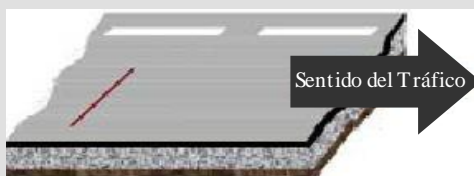
B (Bajo) La profundidad promedio es menor de 10 mm.

M (Mediano) La profundidad promedio es entre 10 y 25 mm.

A (Alto) La profundidad promedio es mayor de 25 mm.

MEDICIÓN: Las fisuras por reflexión de juntas se miden en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura se registra separadamente; se totalizan los metros lineales registrados para cada nivel de severidad en la sección.

ESQUEMA Y FOTOS



Continuación tabla N° 4.3

Corrimiento

DESCRIPCIÓN:

Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando "cordones", principalmente laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera. Típicamente puede identificarse a través de la señalización horizontal del pavimento, observando demarcación de los carriles, por efecto de corrimiento.

POSIBLES CAUSAS:

Los desplazamientos son ocasionados por las cargas del tránsito, actuando sobre mezclas asfálticas poco estables, ya sea por exceso de asfalto, falta de vacíos, o bien, por falta de confinamiento lateral. La inadecuada ejecución del riego de liga o imprimación no permite una adecuada adherencia entre la capa asfáltica de rodadura y la subyacente, originando mayor posibilidad de corrimiento.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) según la siguiente guía:

B (Bajo) El corrimiento es perceptible, causa cierta vibración o balanceo en el vehículo, sin generar incomodidad.

M (Mediano) El corrimiento causa una significativa vibración o balanceo al vehículo, que genera cierta incomodidad.

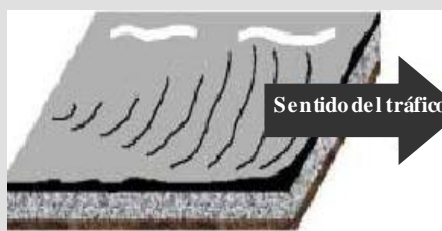
A (Alto)

El corrimiento causa a los vehículos un excesivo balanceo que genera una sustancial incomodidad y/o riesgo para la seguridad de circulación, siendo necesaria una sustancial reducción de la velocidad.

MEDICIÓN:

Los corrimientos se miden en metros cuadrados, registrando separadamente, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección.

ESQUEMA Y FOTOS



Continuación tabla N° 4.3

Corrugación

DESCRIPCIÓN:

Serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1 m entre ellas, a lo largo del pavimento.

POSIBLES CAUSAS:

Este tipo de falla es ocasionado por la acción del tránsito sobre las capas superficiales (carpeta o base del pavimento).

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) según la siguiente guía:

B (Bajo)

La corrugación causa cierta vibración en el vehículo, sin llegar a generar incomodidad.

M (Mediano)

La corrugación causa una significativa vibración en el vehículo, que genera cierta incomodidad.

A (Alto)

La corrugación causa una vibración excesiva y continua en el vehículo, que genera una sustancial incomodidad y/o riesgo para la circulación de vehículos, siendo necesaria una reducción en la velocidad por seguridad.

MEDICIÓN:

La corrugación se mide en metros cuadrados, registrando, de acuerdo a su severidad, el área total afectada en la muestra o sección.

ESQUEMA



Continuación tabla N° 4.3

Hinchamiento

DESCRIPCIÓN: Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.

POSIBLES CAUSAS: Son causadas fundamentalmente por la expansión de los suelos de subrasante del tipo expansivo. En muchos casos pueden estar acompañadas por el fisuramiento de la superficie.

NIVELES DE SEVERIDAD: Según su incidencia en la comodidad de manejo, se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) de acuerdo a la siguiente guía:

B (Bajo) Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a la velocidad de operación promedio.

M (Mediano) Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad de circulación.

A (Alto) Alta incidencia en la comodidad de manejo, condiciona la velocidad de circulación y produce una severa incomodidad con peligro para la circulación (el vehículo es proyectado por efecto del hinchamiento).

MEDICIÓN: Los hinchamientos se miden en metros cuadrados de la superficie afectada, registrando separadamente, según su severidad, el área afectada en la muestra o sección.

ESQUEMA Y FOTO



Hundimiento

DESCRIPCIÓN: Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo.

POSIBLES CAUSAS: Los hundimientos son causados por asentamientos de la fundación, deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenes. La heterogeneidad constructiva puede provocar, desde simples descensos de nivel, hasta insuficiencia de espesor o estabilidad de los materiales.

NIVELES DE SEVERIDAD: Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) de acuerdo a la siguiente guía:

B (Bajo) Baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a la velocidad de operación promedio.

M (Mediano) Moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir la velocidad de circulación.

A (Alto) Alta incidencia en la comodidad de manejo, produce una severa incomodidad requiriéndose reducir la velocidad por razones de seguridad.

MEDICIÓN: El hundimiento se mide en metros cuadrados, registrando separadamente, según su severidad, el área afectada en la muestra o sección.

ESQUEMA Y FOTO



Continuación tabla N° 4.3 **DESINTEGRACIÓN EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

Bache

DESCRIPCIÓN:

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

POSIBLES CAUSAS:

Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras tipo cuero de cocodrilo, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano, Alto) en función del área afectada y de la profundidad del bache, de acuerdo a la siguiente tabla:

PROFUNDIDAD MAXIMA (cm)	DIAMETRO PROMEDIO DEL BACHE (cm)		
	Menor a 70 cm	70 – 10 cm	Mayor a 100 cm
Menor de 2.5	B	B	M
De 2.5 – 5.0	B	M	A
Mayor de 5.0	M	M	A

MEDICIÓN:

Los baches descubiertos pueden medirse alternativamente:

- Contando el número de baches con niveles de severidad baja, moderada y alta, registrando estos separadamente, y
- Computando éstos en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente las áreas, según su nivel de severidad.

ESQUEMA Y FOTO



Continuación tabla N° 4.3

Peladura

DESCRIPCIÓN:

Desintegración superficial de la carpeta asfáltica como consecuencia de la pérdida de ligante bituminoso y del desprendimiento del agregado pétreo, aumentando la textura del pavimento y exponiendo cada vez más los agregados a la acción del tránsito y clima.

POSIBLES CAUSAS:

Esta anomalía es indicativa que el ligante se ha endurecido apreciablemente, perdiendo sus propiedades ligantes, o bien que la mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad, ya sea por un contenido de ligante insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes, como también por deficiencias durante la construcción, especialmente en tratamientos superficiales bituminosos; frecuentemente se presenta como un desprendimiento de agregados en forma de estrías longitudinales, paralelas a la dirección del riego. El desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto, cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo, e inclusive, la acción del agua (pluvial).

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

M (Mediano)

Extensivos desprendimientos de agregados pétreos finos y/o de ligante, confieren a la superficie una textura abierta y rugosa.

En el caso de ataque por aceites, la superficie se ha ablandado y puede penetrarse con una moneda.

A (Alto)

Extensivo desprendimiento de agregados pétreos gruesos y finos, confiere a la superficie una textura muy rugosa, con presencia de oquedades de máximo 10 y 15 mm de diámetro y profundidad respectivamente. En el caso de ataque por aceites, el asfalto ha perdido sus propiedades ligantes y el agregado ha quedado suelto.

B (Bajo)

Pequeñas peladuras u oquedades superficiales, distribuidas erráticamente en la superficie del pavimento. El agregado y/o el ligante han comenzado a desprenderse en algunos sectores. En el caso de ataque por aceites, la superficie se ha ablandado y no puede penetrarse con una moneda.

MEDICIÓN:

Las peladuras se miden en metros cuadrados de superficie afectada, registrando éstas separadamente según el nivel de severidad identificado para cada caso.

ESQUEMA



Continuación tabla N° 4.3

Desintegración de bordes

DESCRIPCIÓN:

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.

POSIBLES CAUSAS:

La causa primaria es la acción localizada del tránsito, tanto por su efecto abrasivo como por el poder destructivo de las cargas, sobre el extremo del pavimento donde la debilidad de la estructura es mayor debido al menor confinamiento lateral, deficiente compactación del borde, etc.

La presencia de arenas angulosas sueltas, muy próximas a la pista, hace que aumente la abrasión de las llantas que ascienden y descienden del pavimento, provocando peladuras severas que pueden conducir a la desintegración.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con el estado del pavimento en los 0.50 m contiguos al mismo, según la siguiente guía:

B (Bajo)

Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad baja o moderada, sin signos de peladuras, desintegración y canales de erosión.

M (Mediano)

Se observan fisuras paralelas al borde, de severidad alta,* y/o peladuras de cualquier tipo, sin llegar a la rotura o desintegración total de los mismos.

A (Alto)

Se observa una considerable desintegración total de los bordes, con importantes sectores removidos por el tránsito; el borde resulta serpenteante, reduciendo el ancho de la calzada.

*Ver: Fisuras Longitudinales en Pág. N° 14

MEDICIÓN:

Las desintegraciones de bordes se miden en metros cuadrados, totalizados separadamente, de acuerdo a su severidad, las longitudes dañadas en la muestra o sección.

ESQUEMA



Continuación tabla N° 4.3

OTROS DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Exudación de asfalto

DESCRIPCIÓN:

Consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.

POSIBLES CAUSAS:

La exudación es causada por un excesivo contenido de asfalto en las mezclas asfálticas y/o sellos bituminosos.

Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficientes, durante épocas calurosas. El ligante dilata, llena los vacíos y aflora a la superficie, dejando una película de bitumen en la superficie. Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumula en la superficie.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo)

Se hace visible la coloración algo brillante de la superficie, por efecto de pequeñas migraciones de asfalto, aún aisladas.

M (Mediano)

Apariencia característica, con exceso de asfalto libre que forma una película continua en las huellas de canalización del tránsito; la superficie se torna pegajosa a los zapatos y neumáticos de los vehículos en días cálidos.

A (Alto)

Presencia de una cantidad significativa de asfalto libre, le da a la superficie un aspecto "húmedo", de intensa coloración negra; superficie pegajosa o adhesiva a los zapatos y neumáticos de los vehículos en días cálidos.

MEDICIÓN:

La exudación del asfalto se mide en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente ésta según su severidad. Cuando se computa como "Exudación de Asfalto", dicha área no debe ser considerada como pulimiento de superficie.

ESQUEMA Y FOTO



Continuación tabla N° 4.3 **Parchados y reparaciones de servicios públicos**

DESCRIPCIÓN:

Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con material similar o diferente, para reparar el pavimento existente. También un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo.

Los parchados disminuyen el nivel de servicio de la carretera, al tiempo que puede constituir un indicador tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una carretera, como de la necesidad de reforzar la estructura de la misma. En general las áreas parchadas tienen un comportamiento inferior al pavimento original y en muchos casos son el origen de una mayor rugosidad del pavimento o de nuevas fallas en el mismo o en el área adyacente, particularmente cuando su ejecución es defectuosa.

POSIBLES CAUSAS:

Si bien los parches por reparaciones de servicios públicos se deben a causas diferentes, los niveles de severidad se definen en forma idéntica.

NIVELES DE SEVERIDAD:

Se definen tres niveles de severidad (Bajo, Mediano y Alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo)

El parche se comporta satisfactoriamente, con muy poco o ningún deterioro.

M (Mediano)

El parche se encuentra moderadamente deteriorado; se evidencia un moderado deterioro alrededor de sus bordes.

A (Alto)

El parche está severamente dañado. La extensión o severidad de estos daños indican una condición de falla, siendo necesario el reemplazo del parche.

MEDICIÓN:

Los parchados se miden en metros cuadrados de área afectada, registrando separadamente éstas de acuerdo con su nivel de severidad. En un mismo parche (particularmente cuando éste alcanza cierta extensión) pueden diferenciarse áreas con distinto nivel de severidad. Si una gran extensión del pavimento ha sido reemplazada en forma continua (por ejemplo reconstruyendo toda una intersección), esta área no debe registrarse como parchado.

ESQUEMA



Cada una de las fallas mencionadas en la tabla anterior (tabla N° 4.3), pueden calificarse dependiendo del grado de severidad observado en: Bajo, Mediano y/o Alto; y pueden medirse de acuerdo al tipo de falla:

- Magnitud promedio en longitud en todo el tramo a estudiar (Ej. Para desplazamientos verticales, ahuellamientos, etc.)
- Cantidad total por longitud (Fisuras transversales)
- Cantidad total por área (para fisuras en bloque)
- Porcentaje de área afectado (Piel de Cocodrilo)
- Número de veces (para hinchamientos y asentamientos)

La metodología de evaluación de cada falla se indica en la tabla 4.3 y proporciona una cuantificación numérica y una calificación más detallada, logrando así una descripción visual más objetiva y coherente que si se hiciera a criterio individual.

4.3 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES EXISTENTES

Esto incluye analizar varios parámetros, que interesarán evaluar la estructura existente y como datos para la etapa de diseño de la nueva carpeta. Esto se ilustra en el siguiente grafico (Figura 4.1):

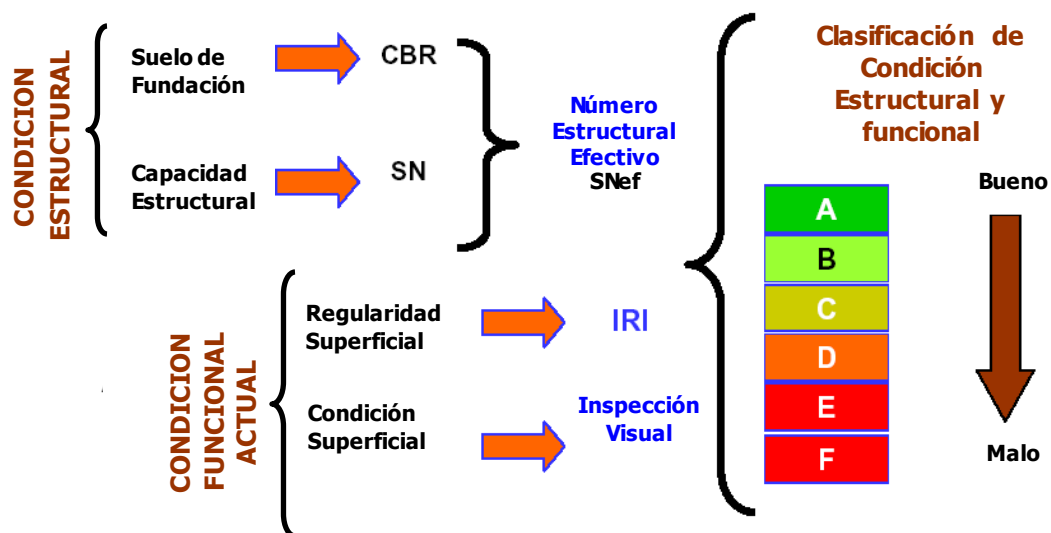


Figura N° 4.1

Evaluación y Clasificación del Pavimento

Las capacidades estructural y funcional están relacionadas. En efecto, un deterioro estructural del pavimento se manifiesta con una disminución de su capacidad funcional, ya que hay un incremento en rugosidad, ruido y aún riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten. No obstante hay otros tipos de fallas estructurales que pueden progresar sin que los usuarios lo noten, hasta etapas muy avanzadas. También puede haber una pérdida de capacidad

funcional sin que esto implique pérdida de capacidad estructural (ejemplo Pérdida de fricción).

La evaluación de la capacidad estructural para pavimentos asfálticos, se realiza en dos categorías: la primera, es la toma de deflexiones y la segunda incluye los procedimientos para encontrar espesores efectivos, en donde se usa relaciones entre esfuerzos de la subrasante, estructura del pavimento, y cargas de tráfico.

Para determinar la capacidad estructural presente en un pavimento, existen métodos destructivos (como extracción de núcleos) y métodos no destructivos (NDT = non destructive test) como la Viga Benkelman, el Deflectómetro de Impacto y otros, los que presentan la ventaja de que se puede determinar las deficiencias estructurales, aún antes de que las mismas, sean visibles.

Con estos métodos se puede estimar la capacidad de soporte de las capas de base y sub-base, y la capacidad de soporte de todas las capas que conforman el pavimento.

Para determinar las condiciones funcionales existentes de un pavimento, se utilizan equipos que obtienen la perfilografía de la superficie, expresando el estado actual de la vía por medio del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

Tanto la evaluación estructural y funcional del pavimento deben tomarse en cuenta, para hacer una correcta evaluación de la situación actual de la carretera o tramo en estudio. Esto puede esquematizarse en la figura N° 4.2, la que muestra qué es lo que se evalúa para determinar la capacidad estructural y funcional de la carretera.

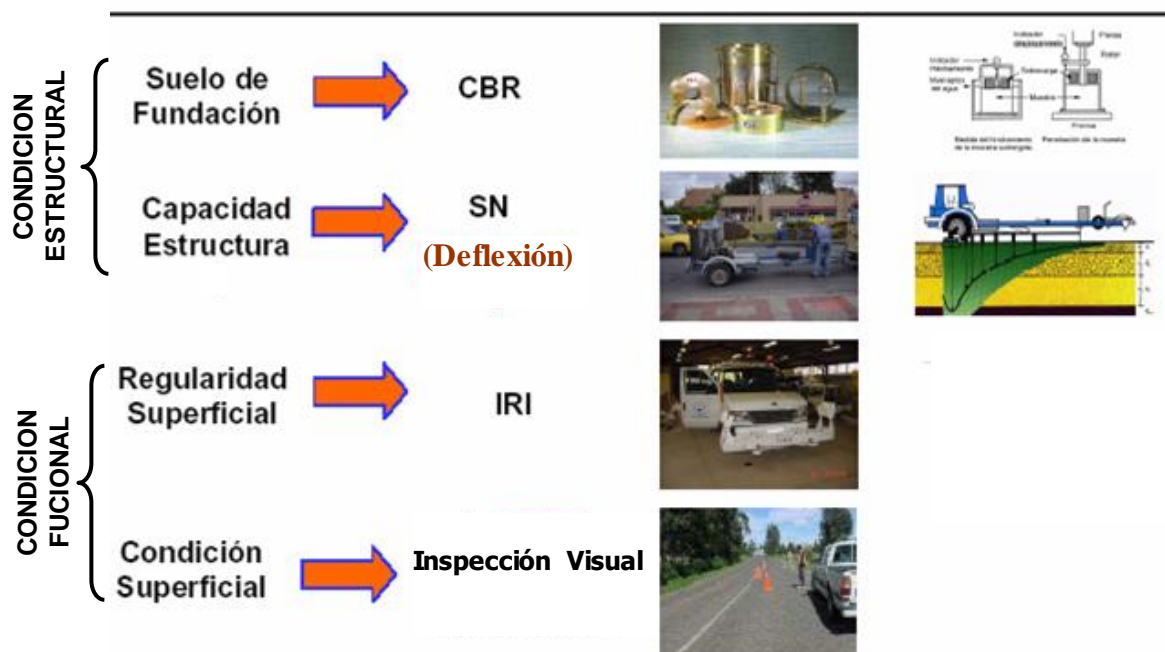


Figura N° 4.2

Evaluación de las Condiciones Existentes del Pavimento

4.3.1 EVALUACIÓN DE CONDICIONES ESTRUCTURALES

Existen varios procedimientos para levantar las condiciones estructurales existentes del pavimento que se pretende Recarpetear y éstos varían de acuerdo al modo de carga del pavimento, según se muestra en la tabla N° 4.4.

Tabla N° 4.4 MODO DE CARGA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN*
Carga Estática (Ensayo de Placas)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Placa circular metálica ▪ Deflectómetros ▪ Gato hidráulico, etc. 	Este ensayo está normado por la ASTM D 1196. (Ensayo estático) y consiste en aplicar una carga de hasta 30 T por 3 minutos en el pavimento, hasta lograr deformaciones de 0.1", luego se repite el procedimiento para lograr deformaciones de 0.2", 0.3" y 0.4".
Carga vehicular	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Viga Benkelman ▪ Deflectómetro Lacroix ▪ Deflectómetro Móvil de California 	Se aplica una carga por medio de un camión que se desplaza a velocidades menores de 5 km/ h, del punto donde se miden las deflexiones.
Carga vibratoria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Masas contrarrotantes Dinafect ▪ Vibradores Eléctricos 	Se induce una vibración armónica en el pavimento por medio de un generador de carga dinámica, por la rotación de una o varias masas excéntricas o por la acción de una bomba hidráulica. Las deflexiones inducidas por los aparatos vibratorios son medidas con transductores de velocidad llamados Geófonos.
Carga de Impulso	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deflectómetro de Carga Descendente ▪ Los Deflectómetros de impacto. 	Se aplica una carga momentánea sobre el pavimento, generada por la caída de una masa sobre un plato circular, apoyado sobre el punto de ensayo. Las deflexiones son medidas con Geófonos que son colocados a distintas distancias del eje de carga.

* Fuente: Tesis UES "Evaluación de Pavimentos de Concreto Asfáltico en Carreteras aplicando la Viga Benkelman y Propuesta Metodológica para la Rehabilitación y Mantenimiento" de Adry Vivina Flores Alvarado Pág. 53.

En el país los procedimientos más utilizados son:

- Viga Benkelman
- Deflectómetros de Impacto

4.3.1.1 VIGA BENKELMAN

Es un dispositivo para tomar deflexiones bajo condición de fuerza estática y velocidad lenta.

Propósito: Este método de ensayo se refiere a un procedimiento para medir el rebote de la deflexión estática de un pavimento asfáltico bajo una carga axial, con un tamaño de llanta y una presión de inflado normalizados.

Procedimiento: Funciona según el principio de palanca; los dos brazos de la viga rotan alrededor de un eje horizontal de manera que cualquier movimiento del extremo de la viga en contacto con el pavimento provoca un movimiento proporcional en el extremo opuesto, el cual es registrado por un deformímetro (Ver figura N° 4.3 a y b).

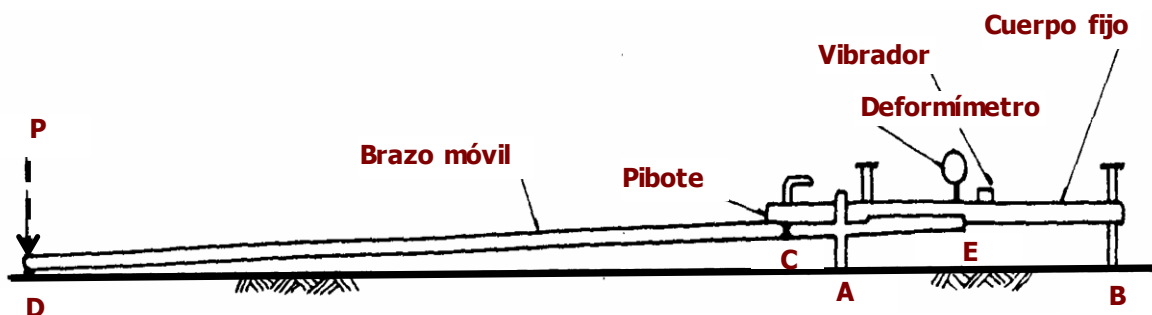


Figura N° 4.3 a

Esquema de Viga Benkelman

MEDICIÓN

- A, B: Apoyos fijos
- C: Eje horizontal
- D: Punto de carga
- E: Deformímetro

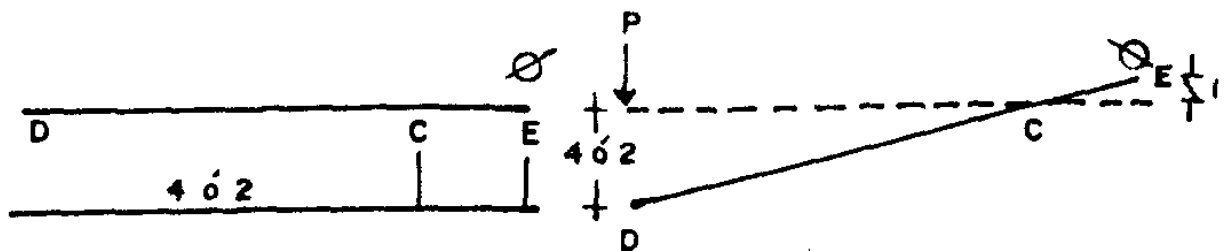
Posición Descargada**Posición Cargada**

Figura N° 4.3 b

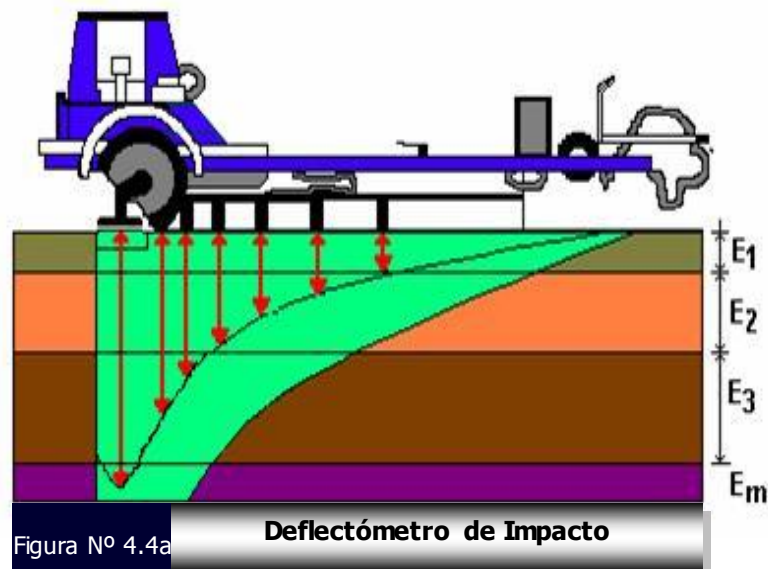
Esquema de la forma de Carga de la Viga Benkelman

4.3.1.2 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO

Propósito: El deflectómetro de impacto es utilizado también para medir las deflexiones producidas por la estructura de pavimento sobre cada uno de los carriles de cada calzada con el fin de evaluar las capacidades de soporte de la estructura existente y la subrasante. Las deflexiones son una medida de la deformación elástica que experimenta un pavimento al impulso de una carga (Ver Figuras N° 4.4 a y b).

Como resultado del estudio deflectométrico se puede valorar la capacidad de soporte de la estructura del pavimento, mediante: El Número Estructural Efectivo (Snef) y el Módulo Resiliente de la subrasante (M_R).

Procedimiento: Consiste en aplicar una carga dinámica en el pavimento por medio de la caída de una masa sobre un plato circular cuya superficie de contacto se asemeja a la rueda de un camión. La curva de deflexión es medida por medio de sensores o geófonos (ver figura N° 4.4 b), ubicados a distancias predefinidas y registra los valores tomados hacia una computadora, que se muestra en la figura N° 4.4 a.



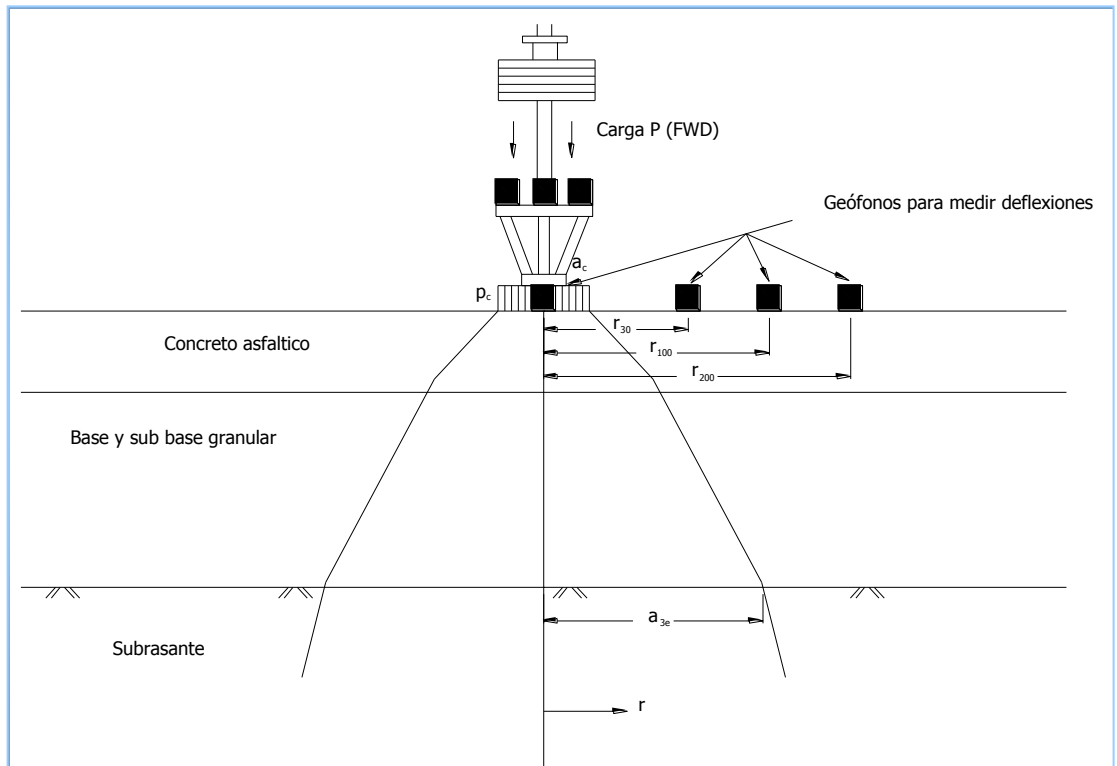


Figura N° 4.4 b

Esquema de los geófonos para medir las deflexiones

Las unidades de la deflexión es de mm/mm, valores de deflexión mayores de 1000/1000 mm resultan críticos para una estructura.

Con el cálculo de las deflexiones en cada tramo evaluado, se puede obtener el valor del Módulo Resiliente de la Subrasante, expresado en kg/cm^2 . Este valor puede calcularse de acuerdo a la siguiente ecuación: $M_R = \frac{0.24P}{d_r r}$; siendo:

M_R = Módulo Resiliente de la Subrasante (kg/cm^2)

P = Carga aplicada (kg)

d_r = Deflexión medida a una distancia r de la placa (cm)

r = Distancia al punto de la medida en cm

Se supone que a una distancia considerable de la carga, la deflexión no está influenciada por los valores de los Módulos de las capas superiores; sin embargo, no debe alejarse demasiado el punto de medida, ya que las deflexiones serían muy pequeñas y de difícil determinación⁷.

4.3.1.3 ESTUDIO GEOTÉCNICO

La clasificación de suelos proporciona al ingeniero una buena idea de la graduación y de los componentes del material in situ. De todos los sistemas de clasificación de suelos, los que más se utilizan son: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (**SUCS**) y el de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales (**AASHTO**).

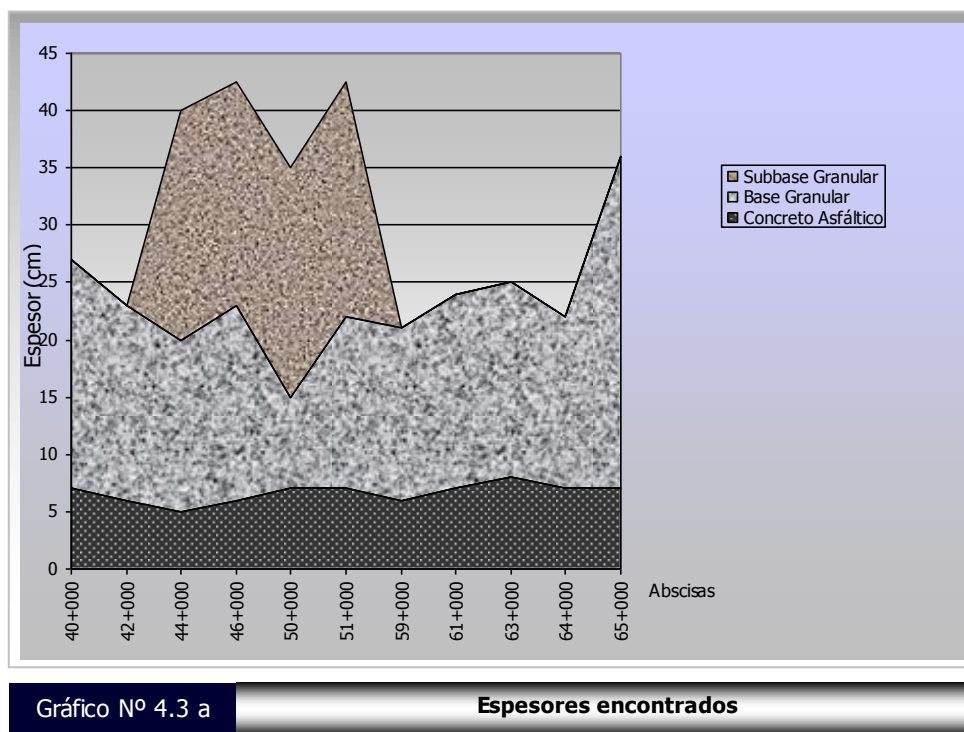
El esfuerzo de compresión no confinado, coeficientes de espesores, módulos de reacción, módulo elástico y valor relativo de soporte, constituyen los parámetros más importantes que se debe conocer de la subrasante.

Este análisis pretende conocer por diferentes fases, el estado actual de la capa sustentante de la vía, los diferentes materiales presentes en el área de estudio y las condiciones de los diferentes estratos. Se busca establecer además una clasificación del suelo. Con diferentes ensayos en los materiales, se establece los

⁷ Ver Libro: Curso de Diseño de Pavimentos Método AASHTO, Rehabilitación de Pavimentos con Refuerzos Capítulo 10 Pág. 238 y 239

límites del suelo. Con sondeos se conocen los espesores de los estratos. Actualmente se utilizan aparatos como el GEORADAR, el cual proporciona algunos de los datos antes mencionados.

Toda la exploración técnica se puede resumir en algunos gráficos (ver N° 4.3 a, 4.3 b y 4.3 c), los cuales recopilan todos los datos necesarios para realizar un diseño cercano a las necesidades de la carretera en estudio. Ejemplo de estos gráficos se muestran a continuación:



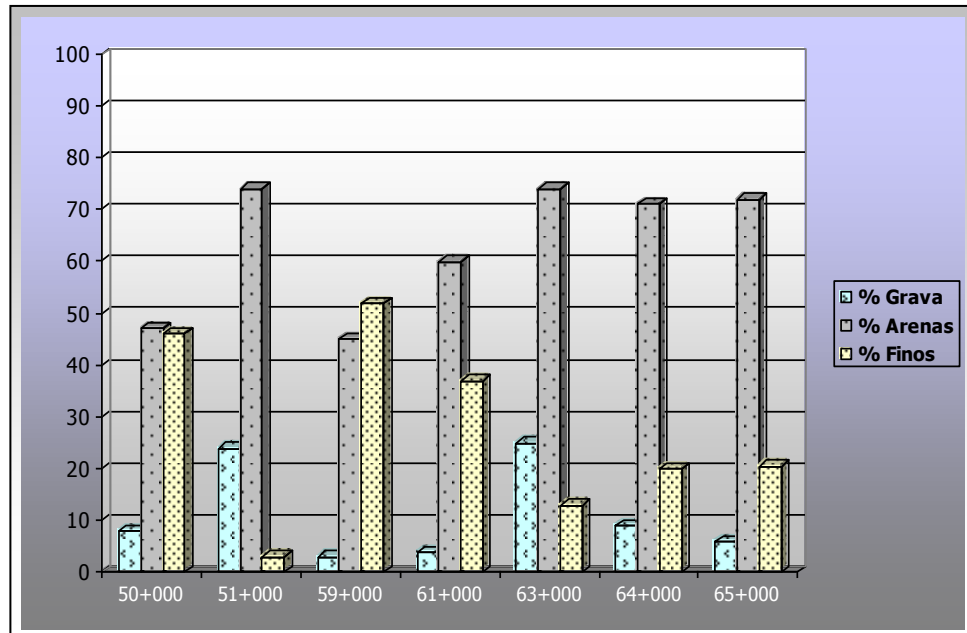


Gráfico N° 4.3 b

Distribución Granulométrica del material de la Subrasante

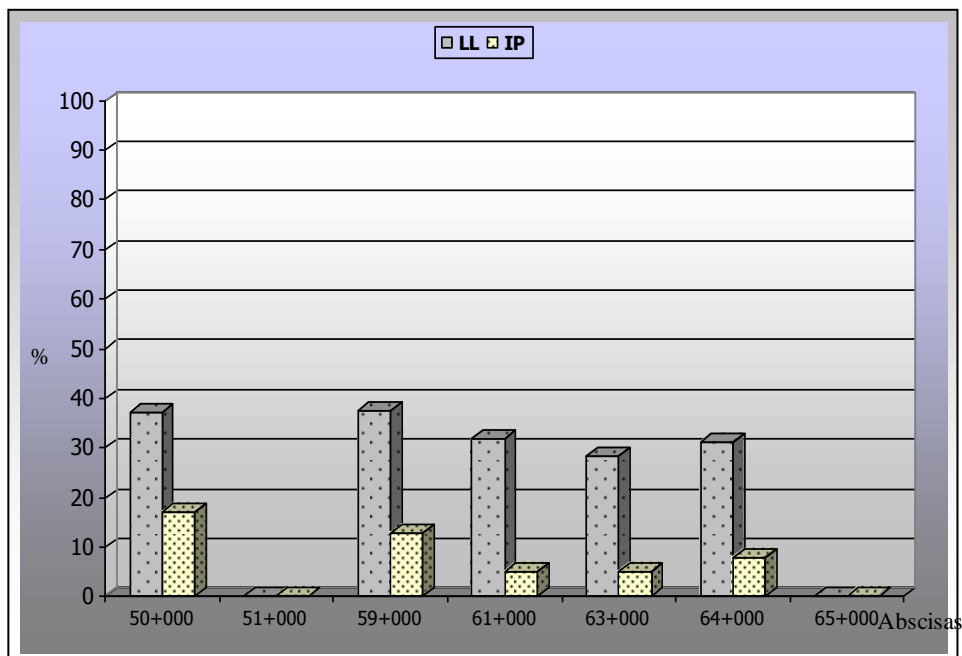


Gráfico N° 4.3 c

Características Físicas del Material de la Subrasante

4.3.1.3.1 CAPACIDAD SOPORTE DE LA SUBRASANTE (CBR%).

La capacidad de soporte del suelo de la subrasante es otro factor a tomar en cuenta en un diseño o una evaluación. El índice CBR (Razón de Soporte de California) es la relación, expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min, para producir deformaciones de hasta 12,7 mm (1/2") y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material triturado normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%.

El CBR determina la capacidad de soporte del suelo para fines de pavimentación basado en la resistencia a la penetración de la gráfica N° 4.4 y Tabla N° 4.5.

Tabla N° 4.5 Capacidad Soporte de la Subrasante CBR%.	Condición ⁸
100 % - 80 %	Excelentes materiales para bases
80 % - 50 %	Buenos materiales para bases
50 % - 30 %	Buenos materiales para sub-base
30 % - 20 %	Muy Buenos materiales para sub-rasante
20 % - 10 %	Buenos a Regulares materiales para sub-rasante
10 % - 5 %	Malos materiales para sub-rasante
5 % - 0 %	Muy Malos materiales para sub-rasante

² Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de carreteras alcantarillas y Puentes SIECA Pág. N° 130

Existen otros parámetros que se utilizan que clasifican el CBR de acuerdo al tipo de suelo presente, estos datos son tomados del Instituto del Asfalto (ver tabla N° 4.6):

Para la evaluación de calidades de materiales granulares para pavimentos, se restringen los valores de $LI \leq 25\%$ y $Ip < 5$

Tabla N° 4.6 Tipo De Suelo ⁹	CBR%
GW	40 – 80
GP	30 – 60
GMd*	40 – 60
GMu	20 – 30
GC	20 – 40
SW	20 – 40
SP	10 – 40
SMd	15 – 40
SMu**	10 – 20
SC	5 – 20
ML	≤ 15
CL	≤ 15
OL	≤ 5
MH	≤ 10
CH	≤ 15
OH	≤ 5
Pt	Compactación No Practicable

* $d = LI = \leq 25\%$ y $Ip < 5$

** u = Caso contrario

⁹ Fuente: Serie de Manuales (MS- 10) del Instituto del Asfalto.

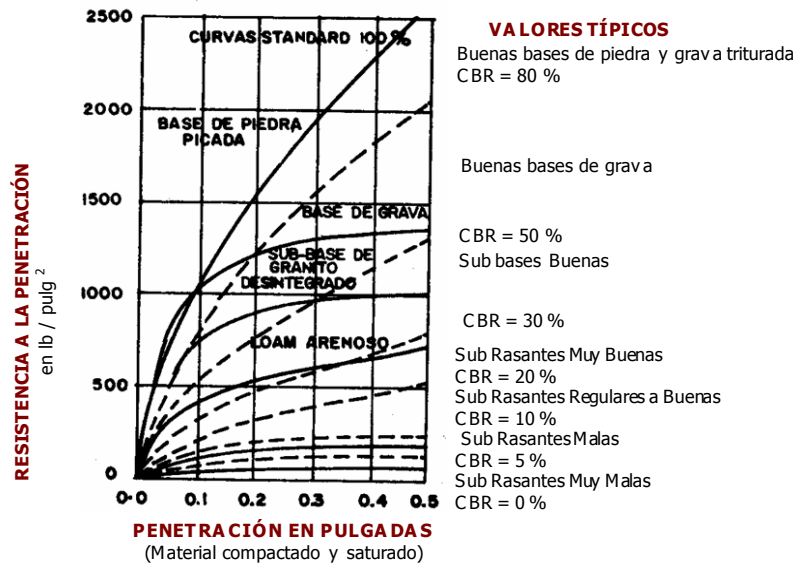


Gráfico N° 4.4

Valores típicos del CBR

Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras Alcantarillas y Puentes SIECA Pág. N° 130

4.3.1.3.2 CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS (SN).

Número que evalúa la calidad del paquete estructural de un pavimento. Se determina como la suma ponderada de los espesores por los coeficientes estructurales, determinados experimentalmente.

Inicialmente se calcula el Número Estructural Efectivo (SNef), el cual representa la falta estructural del pavimento de acuerdo a la metodología AASHTO. Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

Donde:
$$SN = R_1 (D_o - D_{1.5H})^{R2} x H^{R3}$$
 Ecuación 1

H = espesor total de la estructura del pavimento

D_0 = Deflexión Central

$D_{1.5H}$ = Deflexión a distancia 1.5 veces del espesor total de la estructura

R_1 = Coeficientes

Este método también necesita conocer el Número Estructural de diseño o futuro, y con él se establece la falta estructural ΔSN , transformada a partir de coeficientes, en cm de concreto asfáltico teóricos a colocarse sobre la carpeta asfáltica existente, cuando se ha mejorado su condición superficial por diversas formas: fresado, bacheo, etc. La fórmula para determinar la falta estructural, es la siguiente: $\Delta SN = SN_{DIS} - SN_{ef}$ **Ecuación 2**

Se puede utilizar los datos de la tabla N° 4.7, para conocer la Condición correspondiente, de acuerdo al Número estructural obtenido:

Tabla N° 4.7 Capacidad Estructural de Pavimentos SN	Condición Estructural
SN < 2.	Mala
SN entre 2 - 4.	Medio
SN entre 4 - 10.	Buena
SN > 10.	Excelente

4.3.2 CONDICIONES FUNCIONALES

Las fallas funcionales son las que son visibles directamente sobre la capa de rodadura y afectan directamente el desempeño de la carpeta asfáltica, incidiendo directamente en la comodidad, seguridad y economía del usuario. Aunque muchas fallas funcionales son reflejo de fallas estructurales en las capas inferiores (ejemplo el ahuellamiento), éstas se evalúan en esta categoría pues resulta menos práctico hacer correlaciones numéricas para obtener la capacidad estructural del pavimento, a partir de ellas (esto es, si se compara con los métodos descritos en la sección 4.3.1). A continuación se describirán dos parámetros muy importantes y utilizados en nuestro medio, ya que existen equipos muy competentes para su obtención, y además fueron incluidos por el contratista como variables de entrada para el análisis del proyecto, del cual trata el capítulo 7 de este documento.

4.3.2.1 RUGOSIDAD (IRI)

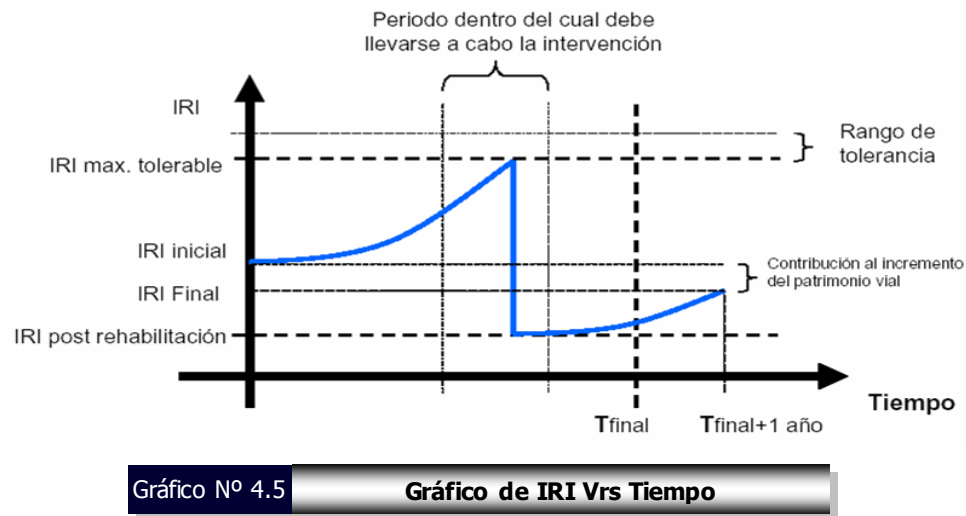
La rugosidad es el estado del deterioro superficial del pavimento, que se refiere en una aspereza superficial excesiva en detrimento de su funcionalidad. La rugosidad se evalúa por medio del Índice de Regularidad Internacional (I.R.I. por sus siglas inglesas: International Roughness Index). Este índice representa los ascensos y descensos obtenidos en metros por kilómetro recorrido (perfilografía superficial). El IRI tiene la ventaja de contar con equipo moderno

para su obtención, y de ser por si solo una evaluación de la funcionalidad total del pavimento, indistintamente cada tipo de falla localizada en la inspección visual.

Para medir el IRI, se pueden utilizar varios equipos creados para ese fin, uno de ellos que se utiliza en el país es el RSP (Road Surface Profiler) de la compañía Dynatest (ver figura. N° 4.5); con el cual básicamente se obtienen lectura de la superficie del pavimento representada en valores de IRI, expresados a intervalos de distancias predeterminadas, en unidades de metros acumulados (desplazamientos verticales) por kilómetro recorrido (m/km). La escala de este índice sube de acuerdo al grado de deterioro de la capa de rodadura. Las fronteras se pueden observar en la tabla N° 4.8.

Tabla N° 4.8 Calificación de la carretera en base a la Rugosidad IRI¹⁰	
IRI	CALIFICACION
< 2000 mm/km	Bueno
2000 – 4000 mm/km	Regular
4000 – 6000 mm/km	Malo
> 6000 mm/km	Muy malo

¹⁰ Fuente: Informe de Diseño de Rehabilitación de Pavimentos TNM



En el Gráfico N° 4.5, se observa como aumenta progresivamente el IRI con la edad o el incremento del tráfico de la carretera; por lo que es necesario de acuerdo a los datos de la tabla N° 4.8 determinar luego de algún tiempo, en que calificación de IRI se encuentra la vía, para luego determinar si es aplicable una intervención de Recarpeteo, a fin de mejorar las condiciones de funcionamiento de la vía.

4.3.2.2 AHUELLAMIENTO (RUT)

Es la acumulación gradual de deformación permanente en las capas del pavimento.

También este procedimiento tiene por finalidad reflejar las condiciones de deterioro de la carpeta existente, para lo cual en el país se ha utilizado el equipo RSP (Road Surface Profiler), además de otros ver figura N° 4.5.

La expresión que da el número de repeticiones de cargas hasta producir la rotura por ahuellamiento es:

$$N_f = 1.635 \times 10^{-9} (e_v)^{-4.477} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

N_f = Número de repeticiones de carga

e_v = Deformación vertical máxima en el extremo superior de la subrasante

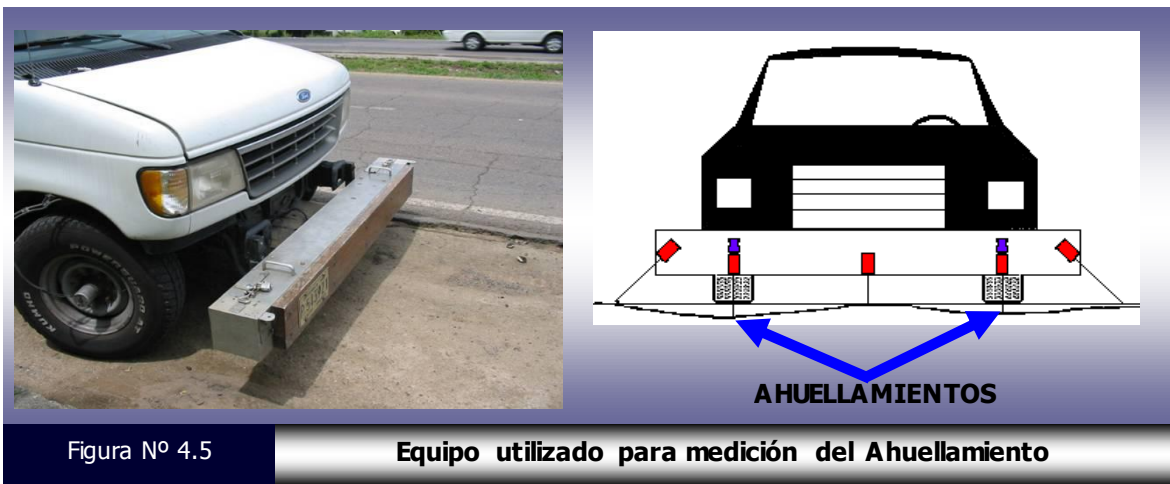


Figura Nº 4.5

Equipo utilizado para medición del Ahuellamiento

Previo al diseño del refuerzo de concreto asfáltico debe conocerse la causa del ahuellamiento del pavimento de concreto asfáltico existente. No se recomienda colocar el recarpeteo si hay un ahuellamiento severo debido a inestabilidad de una o varias capas del paquete estructural. En este caso se recomienda fresar todas las capas asfálticas afectadas.

A continuación se muestra algunas causas y soluciones para el ahuellamiento (Ver tabla N° 4.9)

Tabla N° 4.9 CAUSAS DEL AHUELLAMIENTO¹¹	CAPA AHUELLADA	SOLUCIÓN
Espesor inadecuado de todo el paquete	Subrasante	Refuerzo grueso
Capa granular inestable debido a saturación	Base o sub-base	Remover la capa inestable o refuerzo grueso
Capa inestable debido a baja resistencia al corte	Base	Idem caso anterior
Mezcla asfáltica inestable incluyendo desprendimiento y peladuras	Superficie	Remover la capa inestable
Compactación por tránsito	Superficie, base o sub base	Fresar la superficie y nivelar el refuerzo

4.3.2.3 INSPECCIÓN VISUAL

En esta fase se realizan todas las inspecciones visuales para evaluar y cuantificar las diferentes fallas que presenta la carretera en estudio, de acuerdo a una tipología conveniente, a esto se le conoce como: levantamiento de daños. La existencia de fallas superficiales otorga al analista una importante indicación de las deficiencias funcionales y estructurales de la carretera estudiada, lo cual proporciona más criterio en la etapa del modelaje de la rehabilitación. De similar manera, el levantamiento de daños por si solo no proporciona un criterio contundente para decidir sobre la conveniencia de un recarpeteo, por lo que en

¹¹ Ver Libro: Curso de Diseño de Pavimentos Método AASHTO, Rehabilitación de Pavimentos con Refuerzos Capítulo 10 Pág. 232 tabla 10.3

la práctica se utiliza diversas metodologías para obtener una sola evaluación de la condición del pavimento a partir de las calificaciones individuales por falla, lo cual después facilita correlacionarla, con otros parámetros.

Como ejemplo, a continuación se presentan y se recomiendan las siguientes metodologías, para obtener una calificación global del estado del pavimento:

4.3.2.3.1 Evaluación del Pavimento – Instituto del Asfalto

Esta metodología propuesta por el Instituto del Asfalto, es muy práctica y utilizada en nuestro medio. Consiste en calificar cada falla por separado de acuerdo a un peso (rango) ya establecido, y luego sumarlas para obtener una calificación global según las siguientes tablas (tabla N° 4.10 a y b):

Tabla N° 4.10a FORMATO DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTO ASFÁLTICO (Adaptado del Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Asphalt Institute)		
Proyecto:	Ubicación:	
Longitud del proyecto:	Ancho:	
Tipo de pavimento:	Fecha:	
Evaluador:		
DAÑO	RANGO	NOTA
GRIETAS TRANSVERSALES	0 - 5	
GRIETAS LONGITUDINALES	0 - 5	
PIEL DE COCODRILO	0 - 10	
GRIETAS DE CONTRACCIÓN	0 - 5	
AHUELLAMIENTO	0 - 10	
CORRUGACIONES	0 - 5	
DESPRENDIMIENTO	0 - 5	
ONDULACIONES	0 - 10	
BACHES	0 - 10	
EXCESO DE ASFALTO	0 - 10	
AGREGADOS PULIDOS	0 - 5	
DRENAJE DEFICIENTE	0 - 10	
CALIDAD DE MANEJO (^0" es excelente, 10 es muy pobre)	0 - 10	
SUMA DE EFECTOS: S		
CONDICIÓN DE EVALUACIÓN = $100 - S$		
CONDICIÓN DE EVALUACIÓN =		

Finalmente con la condición de evaluación obtenida de la tabla 4.10a se puede obtener una aproximación sobre el tipo de intervención a realizar en el pavimento de acuerdo a la siguiente tabla (tabla N° 4.11):

Tabla N° 4.11

TIPO DE INTERVENCIÓN SEGÚN EVALUACIÓN GLOBAL DEL PAVIMENTO¹²	
EVALUACIÓN	TIPO DE INTERVENCIÓN
0 – 30	Reconstrucción
30 – 80	Recarpeteo o Sobrecapa
80 – 100	Mantenimiento de Rutina

4.3.2.3.2 Índice de Serviciabilidad de la AASHTO

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento de brindar un uso confortable y seguro a los usuarios.

Es un parámetro importante y conocido internacionalmente desarrollado por la AASHTO, es el Índice de Serviciabilidad Presente, cuya fórmula se presenta como sigue:

$$ISP = 5.03 - \left(1.91 \left[\log \left(1 + 2.47(Rug)^2 + \frac{Ah^2}{400} + \frac{D4^2}{71} \right) \right] \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

ISP = Índice de Serviciabilidad Presente

¹² Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Asphalt Institute, 1983

Rug = rugosidad en m/km

Ah = ahuellamiento en mm

D4 = nota que califica desprendimientos del pavimento.

Se considera como desprendimiento, las peladuras superficiales y los baches. Ambos se miden en porcentaje de superficie afectada, con la aclaración que el bache se considera como una cavidad en el pavimento de forma irregular y de profundidad mayor de 2.5 cm, y la cuantificación de ellas se hará en base a la siguiente tabla (tabla N° 4.12):

Tabla N° 4.12 % Peladuras superficiales ¹³	% de Baches descubiertos	Coficiente D4 correspondiente
1 - 9	-	1
10 - 29	-	2
30 - 49	-	3
50 - 69	0.1 - 0.3	4
70 - 89	0.4 - 0.6	5
90 - 100	0.7 - 1.0	6
	1.1 - 1.3	7
	1.4 - 1.6	8
	1.7 - 2.0	9
	Mayor de 2.0	10

El I.S.P. califica la serviciabilidad de acuerdo a la tabla N° 4.13, su mayor importancia radica en que constituye una variable de entrada en las fórmulas desarrolladas por la AASHTO para la obtención de espesores de pavimentos (ver sección 4.4 de este documento).

¹³ Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Asphalt Institute, 1983

Tabla N° 4.13 CALIFICACIÓN ¹⁴	CONDICIÓN DE SERVICIABILIDAD
0 - 1	Muy Pobre
1 - 2	Pobre
2 - 3	Regular
3 - 4	Bueno
4 - 5	Muy Bueno

La AASHTO califica en términos de Serviciabilidad Presente (**PSR** = Present Serviceability Rating) según la tabla N° 4.14.

En el diseño de una carpeta de pavimento nueva, se debe elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial, P_o , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o Terminal, P_t , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista.

Los valores recomendados son, según la tabla N° 4.14.:

Tabla N° 4.14 SERVICIABILIDAD ¹⁵	VALORES SUGERIDOS POR AASHTO
Inicial	4.2
Final	2.5 o más para vías muy importantes 2.0 para vías de menor tránsito

^{14 y 9} Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Asphalt Institute, 1983

4.3.2.3.3 Índice de Fallas Superficiales y el Índice Global del Pavimento¹⁶.

La metodología más novedosa utiliza Programas de Computadoras, en donde algunos datos de entrada consisten en una calificación del pavimento de acuerdo al **Índice de Fallas Superficiales**, conocido por sus siglas en inglés **MDR** ("Modified Distress Rating"), calculado bajo la siguiente expresión:

$$MDR = 100 - \sqrt{\sum pn_i^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde "pn" es el peso de ponderación del daño según su severidad y extensión. Valores bajos de "pn" indican que el daño no tiene efecto en el comportamiento del pavimento, mientras que valores altos indican un daño de gran influencia.

Otro valor que se considera es el **Índice de Condición Global del Pavimento** conocido como **OPI** (Overall Pavement Index), éste establece una relación integral que califica el estado de serviciabilidad de la vía. Este índice representa una interrelación del estado superficial – MDR (condición Superficial) y la condición del pavimento medido en términos de rugosidad – IRI (desempeño funcional) y por lo cual es un parámetro representativo del estado global del pavimento.

¹⁶ En el capítulo 7, se evalúa un proyecto específico de recarpeteo, la calificación del pavimento se hizo por medio de MDR correlacionándolo posteriormente con el OPI.

Se valora OPI = 0, para pavimentos en mal estado y OPI = 100 para pavimentos en buen estado. Los límites de calificación que se muestran, son aceptados a nivel internacional (Ver tabla N° 4.15).

Tabla N° 4.15 CONDICIÓN¹⁷	CALIFICACIÓN OPI
Mala	0 - 30
Regular	30 – 50
Buena	50 – 80
Muy Buena	80 - 100

Si se observa, los parámetros guardan relación con los que utiliza el Instituto del Asfalto (tabla N° 4.11) y en donde se utiliza el rango de 30 – 80 para optar por el Recarpeteo.

¹⁷ Informe de Proyecto: " Implementación de un Sistema de Gestión de la Red Vial

4.3.2.3.4 Control de Campo Para Levantamiento de Daños

El levantamiento de daños realizado en la inspección visual, no sería un estudio útil si no se recopila y procesa la información de manera adecuada, por lo que la utilización de registros adecuados es importante. Cabe aclarar que en la práctica, existe abundante bibliografía y formularios de control desarrollados para tal fin. Cada uno de ellos obedece a las necesidades particulares de cada estudio. Para este caso se anexa un formulario (ver tabla N° 4.16) que aunque esta basado en una tipología de fallas reducida (rugosidad, deformaciones, fisuramientos y desintegración) se considera representativo, por que tal tipología es la que utiliza la metodología AASHTO para el diseño de espesores de pavimentos (ver sección 4.4 de este documento), y además engloba la mayoría de fallas que se presentan en ellos. Este formulario tiene la ventaja que compila otros parámetros importantes que ya se mencionaron en este documento (IRI, RUT, Df, Rc, I.S.P., etc.), y otros que pueden incidir significativamente (estado de hombros, carril mas deteriorado, etc.). Además, incluye un campo en el cual se puede esquematizar gráficamente un mapeo de fallas, por lo que también se agrega la tabla N° 4.17.

Tabla N° 4.16									
LEVANTAMIENTO GENERAL DE DAÑOS DEL PAVIMENTO									
RUTA:		CAPA DE RODAMIENTO:		ANCHO DE CALZADA:		FECHA:			
TRAMO:		HOMBROS:		ANCHO DE CARRIL		N° DE HOJA:			
ESTACIÓN INICIAL:		PAVIMENTADOS		IZQUIERDO:		EVALUADOR:			
ESTACIÓN FINAL		NO PAVIMENTADOS		DERECHO:					
ELEMENTOS DE UBICACIÓN (Si los tramos son menores de 20 m dibujar mapeo de fallas; en su defecto solo esquematizar intersecciones con vías, indicar ubicación de fotografías, etc.)		ESQUEMA							
OBSERVACIONES (correlativas a las del final de este formulario)									
ESTACIÓN									
RUGOSIDAD		(m/km)							
DEFORM. TRANSV.	AHUELLAMIENTO	(mm)							
	HUNDIMIENTO								
FISURACIÓN		%							
DESPRENDIMIENTO	PELADURA	%							
	BACHE								
ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (I.S.P.)									
DEFLEXIÓN CENTRAL (mm)									
RADIO DE CURVATURA (m)									
BACHEO POR REPARACIÓN (%)									
COEFICIENTE DE FRICCIÓN									
ESTADO DE HOMBROS									
ESTADO DE BORDES DE CALZADA									
ESTADO DE DRENAJE									
CARRIL MÁS DETERIORADO									
EXUDACIÓN									
OBSERVACIONES:									
1. _____		3. _____							
2. _____									

Tabla N° 4.17			
CLASIFICACIÓN DEL TIPO PRINCIPAL DE FALLA		DENOMINACIÓN DE LA FALLA	SÍMBOLO
I	DEFORMACIONES	1. AHUELLAMIENTO	
		2. HUNDIMIENTO (depresión)	
		3. DESPLAMIENTOS	
		4. DESLIZAMIENTOS	
		5. ONDULACIONES	
II	FISURAS O AGRIETAMIENTOS	1. PIEL DE COCODRILO	
		2. EN BLOQUE	
		3. LONGITUDINALES	
		4. TRANSVERSALES	
		5. REFLEXIÓN DE JUNTAS	
		6. EN ARCO	
III	DISGREGACIONES	1. PELADURAS	
		2. DESINTEGRACIONES TOTALES	
		3. PULIMENTO SUPERFICIAL	
IV	EXUDACIÓN	1. DE ASFALTO	
V	MANTENIMIENTO	1. PARCHADOS O BACHEO	
		2. SELLO	

4.4 DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE RECARPETEO

4.4.1 DISEÑO DE ESPESORES METODOLOGÍA AASHTO

Cuando una carretera ya no está en condiciones óptimas para seguir funcionando con las características iniciales de trabajo y requiera de un procedimiento específico para devolverle la capacidad de soporte y funcionalidad que necesite, se hacen diferentes estudios en ella para determinar el tipo de intervención que sea adecuado.

Como se mencionó anteriormente, se evalúa las condiciones estructurales y funcionales del pavimento existente, necesitando para ello, la creación de un banco de datos que servirá para el análisis y diseño de la rehabilitación de la estructura de pavimento.

La ecuación de diseño para el refuerzo es: $SN_0 = a_0 D_0 = SN_f - SN_{ef}$ **Ecuación 6**

Donde:

SN_0 = Número estructural requerido para el refuerzo

a_0 = Coeficiente estructural para refuerzo

D_0 = Espesor de refuerzo

SN_f = Número estructural requerido para el tránsito futuro

SN_{ef} = Número estructural efectivo del pavimento existente.

Para obtener el espesor necesario para la carpeta de refuerzo se sigue los siguientes pasos:

1. Datos del pavimento existente:

- Espesores de cada capa y el tipo de material utilizado
- Registros obtenidos durante la construcción, ensayos de suelo, etc. (si hay)

2. Observación del estado del pavimento existente

- Porcentaje de superficie con piel de cocodrilo (baja, media ya alta severidad)
- Número de fisuras transversales por Km (baja, media ya alta severidad)
- Profundidad media del ahuellamiento
- Evidencia de bombeo en fisuras y bordes del pavimento

3. Ensayos de Deflexión

4. Datos de Geotecnia: Clasificación de Suelos, Granulometrías, CBR, etc.

5. Determinación del número estructural requerido para el tránsito futuro

5.1 Módulo Resiliente Efectivo de la subrasante. Puede determinarse por alguno de estos métodos:

- Ensayos de laboratorio
- A partir de medidas de deflexiones
- Estimación a partir de información disponible sobre suelos y relaciones desarrolladas a partir de estudios del modulo resiliente

5.2 Pérdida de Serviciabilidad de diseño (Δ PSI)

5.3 Confiabilidad del refuerzo (R)

5.4 Desvío estándar para el pavimento flexible (S_0)

Con estos datos y la ecuación de diseño se puede obtener SN_f

6. Determinación del Número estructural efectivo SN_{ef} del pavimento existente, el que se puede obtener por :

6.1 Métodos no destructivos: este supone que la capacidad estructural del pavimento es una función de su espesor y rigidez totales. La relación entre SN_{ef} y E_p es: **$SN_{ef} = 0.0045 D (E_p)^{1/3}$ Ecuación 7**

Donde:

SN_{ef} = número estructural efectivo (pulg)

D=espesor total del paquete estructural (pulg)

E_p =módulo efectivo de todo el paquete (psi)

En unidades métricas: **$SN_{ef} = 0.0024 D (E_p)^{1/3}$ Ecuación 8**

Donde:

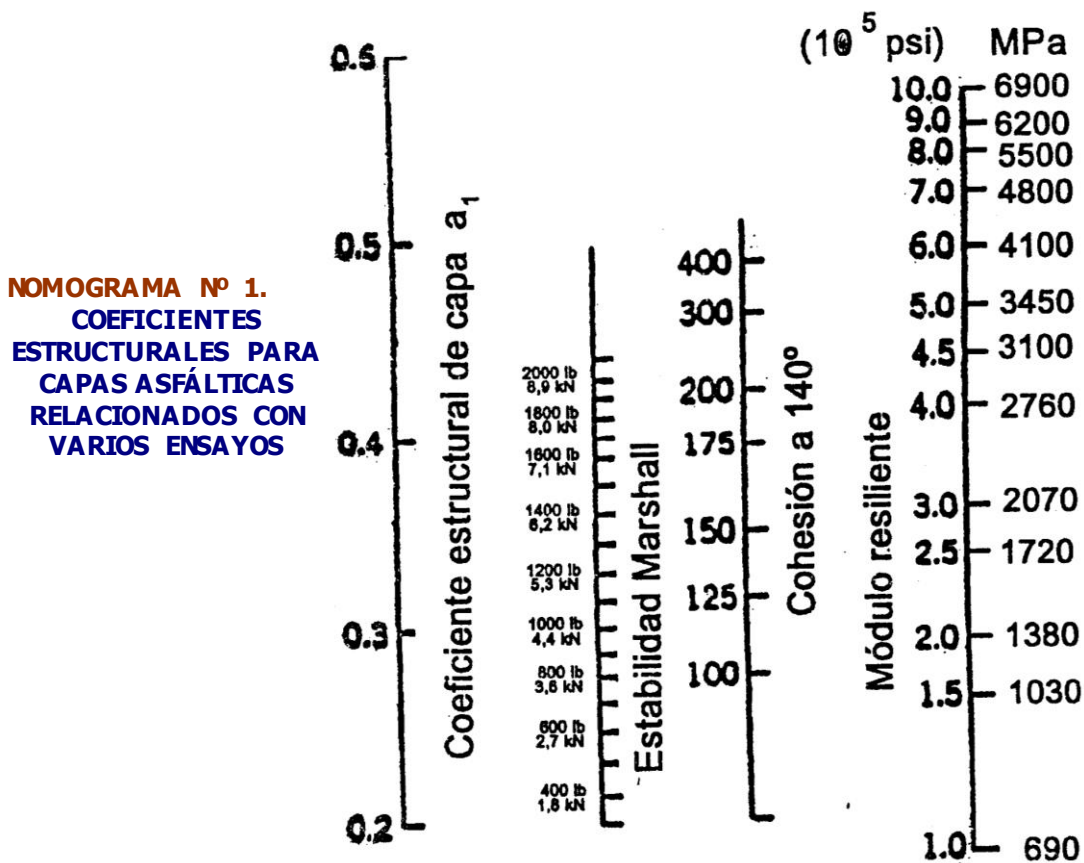
SN_{ef} = Número estructural efectivo (mm)

D= Espesor total del paquete estructural (mm)

E_p = Módulo efectivo de todo el paquete (kPa)

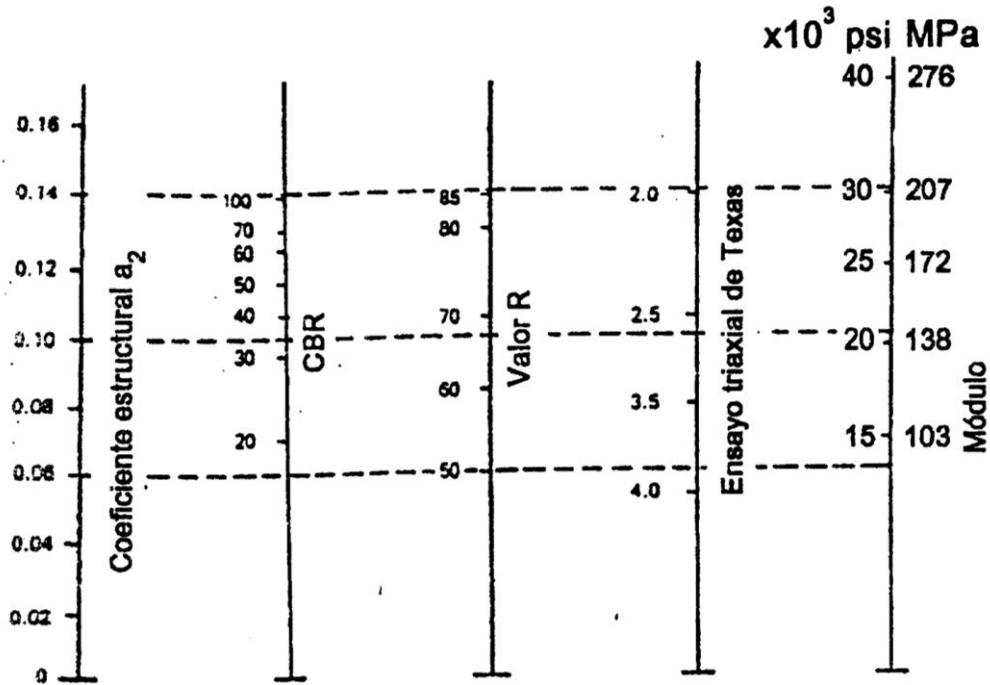
6.2 Observación visual y ensayos de materiales: se analiza la siguiente fórmula: **$SN_{ef} = a_1 D_1 + a_2 D_2 M_2 + a_3 D_3 M_3$ Ecuación 9**

Los coeficientes a_j son asignados por método AASHTO para cada material en base a nomogramas¹⁸ N° 1, 2, 3 y 4 según los valores de CBR, grado de contaminación (pasa #200), etc. En estos, es de interceptar datos conocidos previamente, y determinará el coeficiente de capa que debe utilizarse. Como el objetivo de este trabajo no es determinar el uso de los mismos, sugiere ver los datos y procedimientos que proporciona la Guía AASHTO.

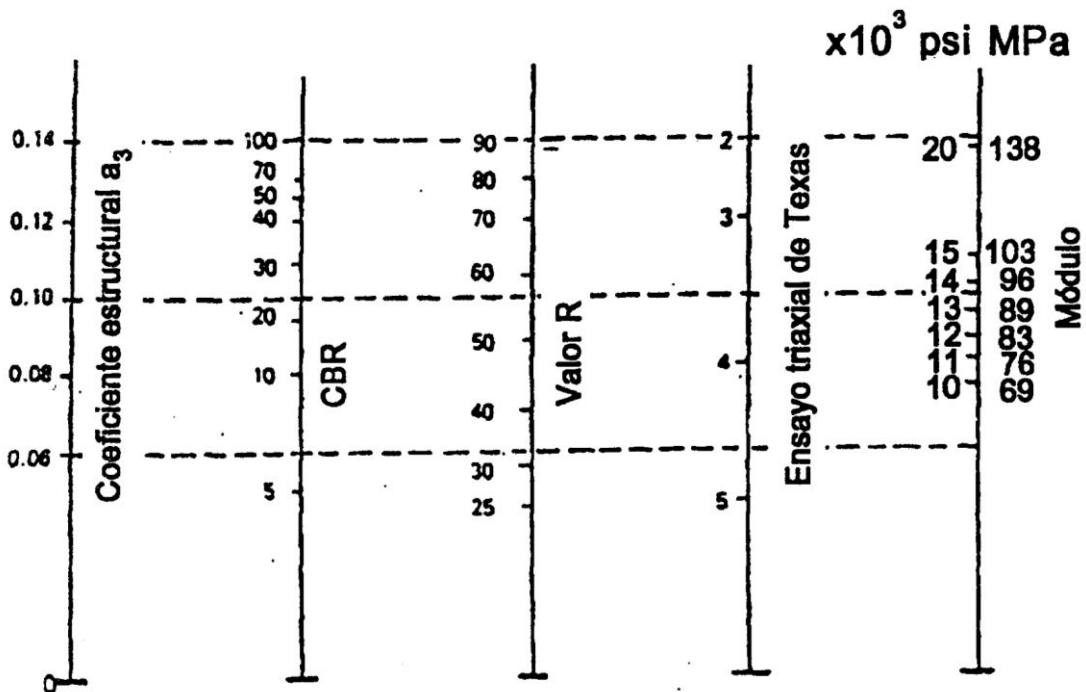


¹⁸ AASHTO, Guide for Designs of Pavement Structures 1993

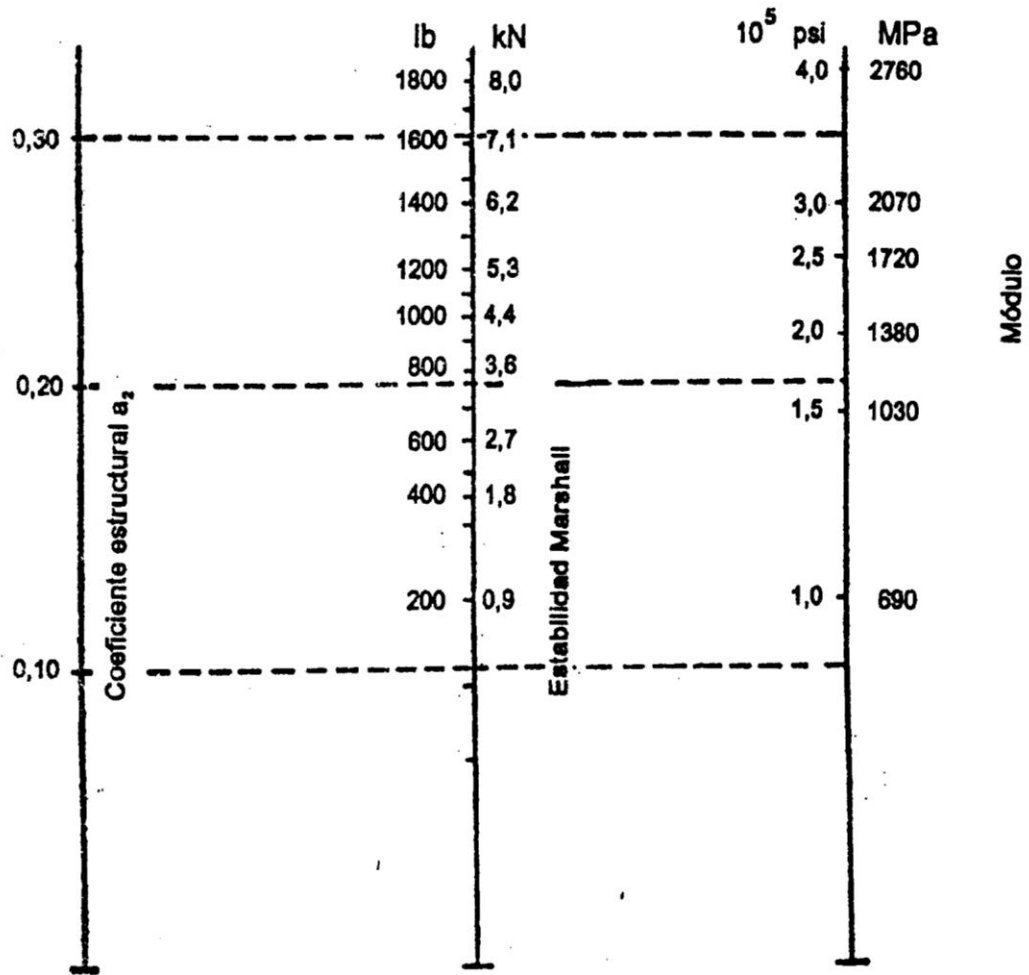
NOMOGRAMA N° 2. RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA BASE GRANULAR Y DISTINTOS PARÁMETROS RESISTENTES



NOMOGRAMA N° 3. RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA SUBBASE GRANULAR Y DISTINTOS PARÁMETROS RESISTENTES



NOMOGRAMA Nº 4. RELACIÓN ENTRE COEFICIENTES ESTRUCTURALES PARA BASE TRATADA CON ASFALTO Y DISTINTOS PARÁMETROS RESISTENTES



pas de

pavimentos deteriorados según AASHTO de acuerdo a la tabla Nº 4.18:

Tabla N° 4.18 MATERIAL	CONDICIÓN DE SUPERFICIE*	COEFICIENTE
Concreto Asfáltico	Muy poca piel de cocodrilo y/o Fisuras transversales de baja severidad	0.35 – 0.40
	<10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <5% de fisuras transversales de media y alta severidad	0.25 – 0.35
	>10% de piel de cocodrilo de baja de severidad y/o <10% de piel de cocodrilo se severidad media y/o 5 – 10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0.20 – 0.30
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0.14 – 0.20
	>10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de alta severidad	0.20 – 0.35
Base Estabilizada	Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de baja severidad	0.20 – 0.35
	<10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <5% de fisuras transversales de media y alta severidad	0.15 – 0.25
	>10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o 5 – 10 % de fisuras transversales de media y alta severidad	0.15 – 0.20
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0.10 – 0.20
	>10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de alta severidad	0.08 – 0.15
Base o Sub base Granular	Sin evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos	0.10 – 0.14
	Alguna evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos.	0.0 – 0.10

*Curso de Diseño de Pavimentos Método AASHTO -97. Traducción del libro: AASHTO Desing Procedures For New Pavements, realizado por la Universidad Nacional de San Juan, Argentina.

Los coeficientes de drenaje¹⁹ (m_1 y m_2) existentes son evaluados principalmente según el grado de contaminación de la capa granular lo cual permite o limita el drenaje de la misma.

¹⁹ Ver Curso de Diseño de Pavimentos Método AASHTO -97, Capítulo 7 Sección 7.7.1 Pág. 146

6.3 Método de Vida remanente: metodología AASHTO, la cual se encuentra plasmada en la Guía AASHTO de 1993²⁰

Básicamente lo que propone el método es una valoración del tránsito en valor de ejes equivalentes de 8.2 T que hace que el pavimento alcance un nivel de Servicio Final (PSI), en el cual se estima que ha terminado la vida útil del pavimento, si se estima igual a 1.5; equivalente a un OPI igual a cero.

Para valorar dicho tránsito se aplica la ecuación básica empleada para el diseño de pavimentos flexibles, derivada de la información obtenida empíricamente por la AASHTO ROADTEST: **Ecuación 10**

$$\log W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log M_R - 8.07$$

Donde:

W_{18} = Número de ejes equivalentes de 8.2, toneladas necesario para alcanzar un PSI igual a 1.5.

Z_R = Desviación estándar normal correspondiente al nivel de confiabilidad de 50%, en consistencia con el Modelo desarrollado de AASHTO Road Test.

S_o = Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento.

²⁰ AASTO, Guide for Designs of Pavement Structures 1993. Pág. III - 88

ΔPSI = Diferencia entre el índice de Servicio inicial (P_o) y el final (P_t)

Es importante tomar en cuenta que el índice de Servicio Inicial, está en función de el tipo de pavimento (flexible, o rígido) y para el caso se toma el valor típico del experimento vial de la AASHTO con un valor de 4.2 (tabla N° 4.14). El índice de Servicio Final corresponde a la condición de Servicio Actual, obtenido de la

ecuación: $PSI = 5 * e^{0.198 - 0.00026 * IRI}$ **Ecuación 11**

Donde:

IRI = índice Regularidad de Intervenciones de Condición Actual.

El ΔPSI es uno de los parámetros básicos de la ecuación de la AASHTO, ya que relacionado como un porcentaje da la pérdida de serviciabilidad total durante toda la vida útil (representado por la diferencia de 4.2 – 1.5), nos permite predecir la vida remanente.

M_R = Módulo resiliente de la subrasante

SN = Número estructural efectivo del proyecto actualmente, dado que se pretende buscar el tránsito que puede soportar el pavimento para completar su máxima vida útil.

Una vez determinado el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, necesario para alcanzar un PSI igual a 1.5 o un OPI de cero, se debe estimar en cuantos años se alcanzará este tráfico, lo cual corresponde a la vida remanente del proyecto.

Para estimar en cuantos años se alcanza dicho ESAL, se emplea la siguiente ecuación de la cual se debe despejar el parámetro "n":

$$ESAL = TPD * A/100 * 365 * \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} * F.C \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,

TPD = es el tránsito promedio diario inicial

A= porcentaje estimado de vehículos pesados (buses y camiones)

B= porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño.

r =es la tasa de crecimiento anual del tránsito, ingresada por el usuario en el

n = será la vida remanente del proyecto (a estimar).

F. C.= es el factor camión, determinado por:

Ecuación 13

$$F.C = \frac{Vol_{buses} * FD_{buses} + Vol_{C2} * FD_{C2} + Vol_{C3} * FD_{C3} + Vol_{C5,C6} * FD_{C5,C6}}{Vol_{buses} + Vol_{C2} + Vol_{C3} + Vol_{C5,C6}}$$

Donde,

Vol= corresponde a el volumen de cada tipo de vehículo pesado (Buses, C2, C3 y C5, C6).

FD = corresponde a los factores daño para cada uno de los vehículos pesados, los cuales se establecieron para El Salvador según la tabla N° 4.19:

Tabla N° 4.19 TIPO DE VEHÍCULO PESADO ²¹	FACTOR DAÑO (FD)
Bus	1.0
Camión C2	2.6
Camión C3, T2S1, T2S2, T2S3	4.8
Camión T3S2 y T3S3	5.2

Se puede calcular por los tres métodos y seleccionar el SN_{ef} haciendo uso de criterios ingenieriles y de la experiencia.

4.4.1.1 DEFINICIÓN DEL ESPESOR DE REFUERZO

Para poder obtener el espesor de carpeta adecuado, se debe realizar un análisis en conjunto de todos los tramos de la vía, es decir, que lo más probable es que se encuentren diferentes valores de CBR, Capacidad estructural (SN), IRI y daños superficiales, a lo largo de la misma carretera. Por lo que lo aconsejable es tratar de homogeneizar los diferentes tramos escogiendo la condición más desfavorable o según el criterio del diseñador, a fin de obtener un espesor de carpeta relativamente homogéneo además que el costo de Rehabilitación no resulte extremadamente alto siempre y cuando cubra todas las necesidades estructurales y funcionales que se requiera (Ver figura N° 4.6).

Para homogeneizar los tramos se debe evaluar cuales son las secciones que tienen valores aproximadamente similares de los parámetros antes descritos y que se consiga agrupar en una condición o calificación representativa a todos ellos.

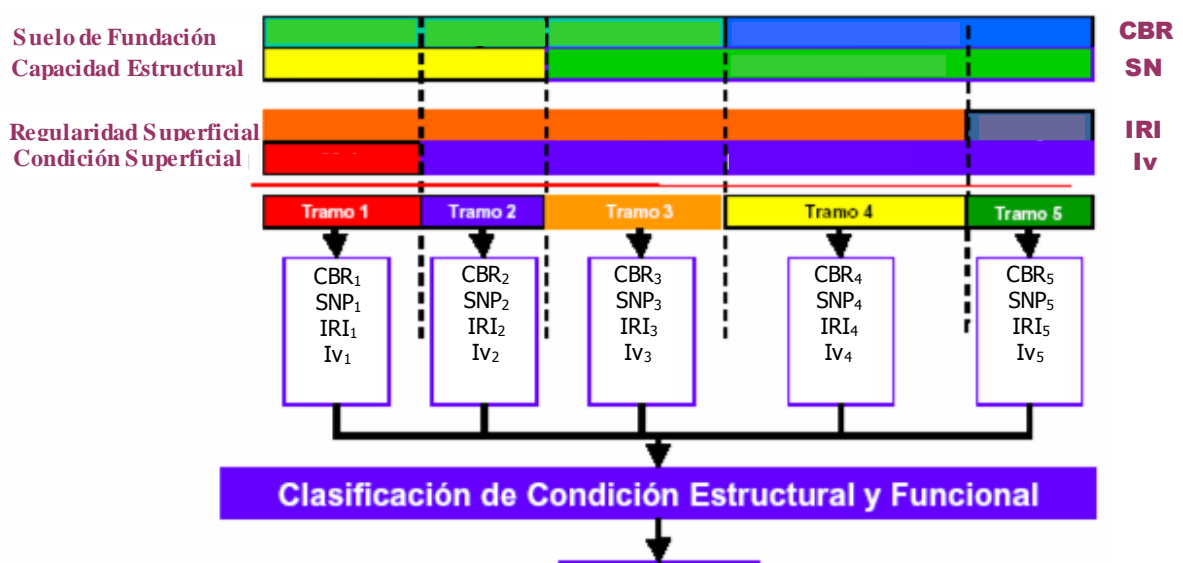
²¹ AASTO, Guide for Designs of Pavement Structures 1993

Definidas las secciones homogéneas, los datos de tránsito y módulo resiliente para cada sección, junto a los parámetros definidos, se evalúa y determina por cada tramo, el refuerzo necesario según AASHTO, y el tratamiento a seguir en cada sector; es decir que en el caso de que el proyecto sea dividido en secciones de diseño y condiciones relativamente uniformes, cada sección debe ser considerada independientemente y los datos de entrada para encarar el diseño de la carpeta de refuerzo, se obtiene a partir de cada sección.

Inicialmente se obtiene el SN necesario a futuro para cada sección según AASHTO, y se calcula la diferencia entre el SN_{efect} según RHODE y el SN necesario según AASHTO, que equivale a la falta estructural existente (ΔSN).

Entonces empleando la ecuación de componentes de la AASHTO, se despeja el espesor necesario para cubrir tal falta, todo en concreto asfáltico.

Por último, en la determinación de los espesores, se comparan los espesores obtenidos por falta estructural según mediciones de deflexión con el FWD mediante la metodología AASHTO, contra los espesores necesarios para cumplir con el criterio a fatiga.



CAPÍTULO V
**PROCEDIMIENTOS PARA LA
APROBACIÓN DE REQUISITOS
CONTRACTUALES**

CAPÍTULO V. PROCEDIMIENTO PARA LA APROBACIÓN DE REQUISITOS CONTRACTUALES.

5.1 GENERALIDADES

Como se mencionó en la sección 2.2.1.6, la calidad depende de muchos factores que se listaron en esa ocasión; sin embargo, también se mencionaron algunos conceptos tales como: Control de Calidad, Plan de Control de Calidad y Aseguramiento de la Calidad, los cuales se ampliarán en este capítulo. Dependiendo del enfoque que se utilice podrían definirse más conceptos, pero en esta ocasión se hace una explicación más detallada de esos conceptos y de otros más, que actualmente se utilizan en nuestro medio en la práctica de la construcción. Tales conceptos se han unificado, gracias al esfuerzo continuado de entidades gubernamentales y privadas de la región Centroamericana (que buscan la integración), en las cuales se han logrado crear políticas definidas sobre desarrollo social, en ellas se recalca la necesidad de invertir en obras públicas pero de manera más racional y planificada, para así lograr una infraestructura adecuada y de calidad. Para nuestro caso nos referimos a la Secretaría de Integración Económica Centro Americana (SIECA) y al Ministerio de Obras Públicas de nuestro país, los cuales tienen sus propias políticas y reglamentos que regulan los contratos viales, no solo a nivel administrativo, sino

que también a nivel técnico para finalmente lograr la calidad buscada. Del documento de la SIECA se extractan los siguientes conceptos:

5.1.1 CONTROL DE CALIDAD (QC)

Es la suma total de las actividades desarrolladas por el Contratista para asegurarse que un producto cumple con los requerimientos de las especificaciones del contrato.

5.1.2 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (QA)

Es la suma total de las actividades desarrolladas por el inspector (la supervisión) para asegurarse que un producto cumple con los requerimientos de las especificaciones del contrato.

5.1.3 SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD (QCS)

Es un conjunto de responsabilidades, autoridades, procedimientos y recursos relacionados internamente, completamente definidos y desplegados en forma coherente para lograr cumplir con las exigencias de calidad de la obra, especificadas en los términos contractuales. Este concepto no es limitado por lo que su área de influencia no se restringe al sitio de la obra, sino que engloba también la organización administrativa del contratista, las interrelaciones y jerarquías acordadas entre el propietario, el contratista y la supervisión.

El QCS se va desarrollando a través de todo el período de ejecución del proyecto a partir de la adjudicación del contrato, conformando gradualmente los

Documentos Contractuales (ver sección 5.2). Durante la conformación del QSC, se identifican las siguientes fases ó elementos básicos:

- Conferencia de Pre-Construcción
- Elaboración y entrega del Plan de QC
- Reunión de Coordinación
- Presentación de Sometimientos (DARC)
- Control a través de las tres fases básicas (preparatoria, inicial y de seguimiento)
- Ensayos para el control
- Inspección de la finalización
- Notificación de No Conformidad
- Documentación

5.1.4 PLAN DE CONTROL DE LA CALIDAD (QCP)

Es una descripción detallada propuesta por el contratista, del tipo y frecuencia de la inspección, muestreos y ensayo, considerada como necesaria para medir y auto controlar las diferentes características establecidas en las especificaciones de un contrato para cada ítem de trabajo. El QCP, será un documento lo suficientemente técnico que servirá como manual de ejecución para el contratista y como una evidencia de su logística y capacidad de ejecución ante la supervisión del propietario (contratante). El QCP, debe de tener

principalmente los siguientes elementos (los cuales pueden ser desglosados dependiendo de la complejidad del proyecto):

- Descripción de la organización del QC
- Personal (Nombre, Calificación y Cargos)
- Documentos de otorgación de autoridad
- Procedimientos de Planificación (programación, DARC, Manual de funcionamiento de laboratorio, etc.) y de notificación de operaciones.
- Características del trabajo
- Frecuencia de Ensayos
- Plan de Inspección
- Diagramas de Control
- Reportes de los resultados del QC

El objetivo del Plan de Control de la Calidad, es el definir las actividades que le atañen al Sistema de Control de Calidad del Contratista para garantizar la calidad de los materiales y minimizar los problemas de calidad atribuibles a procesos constructivos. Tal documento debe aplicar al control de materiales, procesos constructivos, y el control de los procesos de los ensayos. Finalmente el Plan de Control de la calidad debidamente implementado y ejecutado, evitará que el control de calidad sea un simple reflejo por resultados de ensayos de la calidad en los productos terminados, sino que se prevenga la ocurrencia de deficiencias a través del control de los procesos constructivos involucrados,

siguiendo la metodología de las fases de inspección. Los requisitos de calidad pretendidos en un proyecto de recarpeteo (y para cualquier otro) deben basarse en Las Especificaciones Técnicas presentadas en los Términos de Referencia incluidos en el Contrato. Se deduce de lo anteriormente expuesto que el Plan de Control de Calidad, es solo una parte del Sistema de Control de la Calidad que tiene que darse en cada etapa de la ejecución del proyecto.

El Plan de Control de Calidad surge cuando es concebido por el contratista y sometido a aprobación del PROPIETARIO (revisado y aprobado por la Supervisión) durante la reunión previa de la construcción.

Para la elaboración del plan de control de calidad definitivo, se realizan diferentes fases, que se listan a continuación:

- Conferencia de pre-construcción
- Orden de inicio
- Presentación del plan QC o un plan interino de QC
- Reunión de coordinación
- Inicio de la construcción

5.1.5 PLAN QC INTERINO

La aceptación es condicional y será afirmada en base a un funcionamiento satisfactorio durante la construcción. Se considera solo para los primeros 30 días de operación y es aplicable únicamente a aquellas características particulares que están aceptables en el Plan QC. No se puede iniciar una actividad que no

esté contemplada en el Plan Interino. Si el plan interino en ese período demuestra ser satisfactorio, se adoptara como el QCP válido para todo el proyecto siempre y cuando termine de completarse si le faltaban actividades y aspectos importantes. Finalmente cabe decir que el QCP, siempre estará sujeto a modificaciones durante todo el período de ejecución del proyecto, con el fin de ir refinando los conceptos y procesos de las actividades que hasta ese momento no se habían ejecutado, y que solo al momento de realizarse, evidencian debilidades en el QCP.

Para una mejor comprensión y mayor detallado sobre los conceptos de calidad explicados, el Ministerio de Obras Públicas tiene sus propias políticas del control de la calidad que regulan todos sus contratos, estas están incluidas en un documento específico que proporciona en todos sus contratos.

Finalmente podrían resumirse los conceptos de la calidad mencionados hasta el



Figura Nº 5.1

momento (secciones 5.1.1 – 5.1.5) por medio de la figura N° 5.1, como sigue:

5.2 DOCUMENTOS CONTRACTUALES

Son una serie de documentos que describen y proveen las formalidades legales que garanticen los derechos y deberes de las partes, además de un trabajo completo y de calidad, ellos documentan el Sistema de Control de Calidad del proyecto. Los documentos que se listan a continuación, son considerados como parte integral del contrato y son elementos indispensables del mismo.

1. Invitación a Licitación
2. Disposiciones Generales
3. Especificaciones Generales
4. Disposiciones Especiales
5. Especificaciones Particulares
6. Planos Contractuales
7. Croquis en Línea (si fuere necesario)
8. Plan de Control de Calidad
9. Formulario de Oferta debidamente completado, firmado y legalizado
10. Adendas Emitidas
11. Resolución de Adjudicación
12. Contrato Legalizado
13. Orden de Inicio
14. Ordenes de Cambio

15. Acuerdos Suplementarios
16. Programa de Trabajo
17. Publicación de Finalización de obra
18. Garantía de Adelanto y Cumplimiento

En caso de una discrepancia de información entre cualquiera de los documentos listados, las dimensiones calculadas prevalecerán sobre dimensiones en escala, y las partes del contrato predominarán en el siguiente orden jerárquico:

1. Leyes o Reglamentos Específicos
2. Contrato
3. Disposiciones Especiales
4. Planos
5. Especificaciones Particulares
6. Especificaciones Generales

5.3 DOCUMENTOS DE APROBACION DE REQUISITOS CONTRACTUALES (DARC)

Son los documentos a través de los cuales el Contratista obtendrá la aprobación del Propietario, para proceder a la ejecución de una unidad de obra, en base a la forma descrita en los mismos. Consisten en formatos de remisión de todos aquellos ensayos, planos de taller, diseños de mezcla, u otros documentos pertinentes que sean de vital importancia, tanto su existencia como su aprobación, previo al inicio de las actividades con que estén relacionados. Estos documentos comprenden varios aspectos que pueden ser clasificados de la siguiente manera:

Los aspectos generales comprenden:

- Identificación de los DARC
- Clasificación de los DARC
- DARC aprobados
- DARC no aprobados
- Retención de pago

Los aspectos de ejecución comprenden:

- Generalidades
- Registro de DARC
- Programación de los ítems sometidos

- Elaboración del Formulario para la remisión
- Ejecución del Procedimiento para aprobaciones

Se sugiere para su uso la tabla N° 5.1 que contiene un formulario para remisión de ítems (utilizado en la fase preparatoria de cada ítem) y otro para el procedimiento de aprobación de cada ítem (formulario N° 1):

Tabla N° 5.1								
FORMULARIO PARA REMISIÓN DE ÍTEMS								
Remisión de planos de taller, datos de equipo, muestras de materiales o certificación de cumplimiento de la elaboración					Fecha		Remisión N°	
SECCIÓN 1 REQUERIMIENTO PARA APROBACIÓN DE LOS SIGUIENTES ÍTEMS (esta sección será inicialmente el contratista)								
PARA		DE		CONTRATO N°		CHEQUEO		
						NUEVA REMISIÓN		
						REMISIÓN DE RESOMETIMIENTO		
SECCIÓN DE ESPECIFICACIÓN N° (solamente una sección con cada remisión)		TÍTULO DEL PROYECTO Y LOCALIZACIÓN				CHEQUEO: este aviso es para I. Campo aprob. Ministerio		
ITEM N°	DESCRIPCIÓN DEL ÍTEM SOMETIDO (tipo, tamaño, modelo, número, etc.)	MUESTRA O CERTIFICACIÓN	N° DE COPIAS	DOCUMENTO DE REFERENCIA DEL CONTRATO		CÓDIGO usado por contratista	VARIACIÓN (ver instrucción N° 6)	CÓDIGO usado por ministerio
				Párrafo N°	Párrafo N°			
a	b	c	d	e	f	g	h	i
Observaciones				Certifico que los sometimientos arriba mencionados han sido revisados en detalle son correctos y en estricto cumplimiento con los planos y especificaciones del contrato excepto en las cosas establecidas.				
				NOMBRE Y FIRMA DEL CONTRATISTA				
SECCIÓN 2 ACCIONES DE APROBACIÓN								
CONTENIDO RECHAZADO (Listado por Ítem N°)				NOMBRE, TÍTULO Y FIRMA DE LA AUTORIDAD QUE APRUEBA			FECHA	

Formulario N° 1

CONTRATISTA: _____
(Nombre de la firma)

Aprobado _____

Aprobado con correcciones como es anotado en los datos sometidos y/o en
las hojas anexas _____

FIRMA _____

TITULO _____

FECHA _____

Un formulario tipo de Documento de Aprobación de Requisitos Contractuales, se muestra en la tabla N° 5.2. Para una mejor comprensión de cómo se utiliza un DARC para la actividad "mezcla asfáltica en caliente", se agrega un ejemplo de en la tabla N° 5.3

Tabla N° 5.2					
DOCUMENTO DE APROBACIÓN DE REQUISITOS CONTRACTUALES					
Nº Correlativo :	Fecha de Entrega:	Recibió:	Se solicita resolución para fecha:		
PROYECTO:			Nº de Contrato:		
CONTRATISTA:			Supervisor:		
PARTIDA: (Descripción breve del requisito contractual relevante):					
Tipo(s) de ítem:	Documento	Plano	Muestra	Ensayo	Otro
Descripción de los ítem: (anexar cada ítem a esta hoja, marcando cada ítem con el N° correlativo de este DARC)					
Resolución:	Aprobado:	No Conforme:	Sección de los documentos con los que no es conforme (si los hay)		
Firma		Sello			
Revisión Técnica efectuada por:	Fecha de revisión:		Fecha de entrega de resolución :		
Listado de aspectos encontrado no conformes con los Requisitos Contractuales:					

Tabla N° 5.3

FORMATO DEL DOCUMENTO DE APROBACIÓN DE REQUISITOS CONTRACTUALES (DARC)

No. Correlativo:	Fecha de Entrega:	Recibió:	Se solicita resolución para fecha:
PROYECTO:			No. de Contrato:
CONSTRUCTOR:			SUPERVISOR:
PARTIDA: Mezcla Asfáltica en Caliente.			
<p>Descripción breve del requisito contractual relevante: Se define como Mezcla Asfáltica en Caliente, la combinación de un ligante hidrocarbonado (incluido el polvo mineral), de manera que todas las partículas del agregado queden 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 puesto en obra a temperatura muy superior a la ambiente. Materiales: Los agregados procederán de trituración, con coeficientes de desgaste inferior a 25, granulometría para un tipo de mezcla D-12, S-12 y asfalto AC 60/70. Se utilizará el método Marshall para el diseño y control de calidad de la mezcla. Ejecución de la Obra: La partida se ejecutará de acuerdo a lo establecido en las especificaciones técnicas del proyecto, en lo que se refiere a Mezcla Asfáltica en Caliente. Se trabajará un tramo de prueba de 300 metros de longitud para comprobar la fórmula de trabajo, el funcionamiento del equipo y el plan de compactación.</p>			
TIPO(S) DE ÍTEM:			
Documento: _____	Plano: _____	Muestra: _____	Ensayo: _____ Otro: _____
<p>Descripción de los Ítem: (anexe cada ítem a esta hoja, marcando cada ítem con el No. correlativo de este DARC) Documento: en este documento se describe el proceso constructivo de la carpeta asfáltica y los requisitos de calidad a cumplir. Ensayo: se anexan los resultados de los ensayos ejecutados por el método Marshall para definir la fórmula de trabajo. Otros: se anexa el certificado de calidad del asfalto.</p>			
EQUIPO A UTILIZAR:		PERSONAL A UTILIZAR:	
<ul style="list-style-type: none"> • 5 camiones de volteo • 1 camión distribuidor de asfalto • 1 rodo neumático • 1 rodo liso vibro compactador • 1 extendedora de asfalto • 1 cargador • 1 minicargador • 1 planta de producción 		<ul style="list-style-type: none"> • 6 motoristas • 5 operadores • 12 auxiliares 	
Resolución: Aprobada: ____ No conforme: ____			Sección de los documentos con los que no es conforme (si hay rechazo): Firma:
Firma:		Sello:	
Revisión técnica efectuada por:	Fecha de revisión:	Revisión técnica efectuada por:	Fecha de revisión:
Listado de aspectos encontrados de no conformidad con los requisitos contractuales: (Si el espacio no es suficiente anexe las hojas que sean necesarias)			

Como puede notarse, el DARC es un formulario de control simplificado. Su importancia radica en que es el objeto de interfase entre la supervisión del propietario y el contratista. Básicamente un DARC es un documento sencillo y práctico que sirve a la supervisión como instrumento eficaz para su QA, en el se dictamina el grado de conformidad del propietario con cada ítem de trabajo.

5.3.1 REGISTRO DE ENTREGAS DE LOS DARC

Para llevar un correcto control sobre los DARC, el contratista debe tener una hoja de control resumen donde se registren cada DARC para cada ítem de trabajo por medio de su número correlativo, la fecha de entrega y la fecha acordada (entre las partes) para su resolución, así como el nombre y la firma de las 2 personas representantes (tanto de la supervisión como del contratista), ver tabla N° 5.4.

Tabla N° 5.4 REGISTRO DE ENTREGAS DE DOCUMENTOS DE APROBACIÓN DE REQUISITOS CONTRACTUALES (DARC)					
PROYECTO:			N° DE CONTRATO:		
CONSTRUCTOR:			SUPERVISOR:		
N° correlativo Del DARC	Fecha de entrega Para revisión	Recibió (nombre y firma)	Fecha para la que Se solicita resolución	Fecha de entrega de la resolución	Recibió resolución (nombre y firma)

5.4 CONTROL DE CALIDAD DEL CONTRATISTA

5.4.1 FASES DE CONTROL

Una vez el QCS y el QCP, estén en pleno funcionamiento, el control de calidad del contratista debe realizarse antes, durante y posteriormente a cada actividad (ítem) de trabajo. Esto se realizará durante tres fases identificadas como se describe a continuación:

- Fase Preparatoria
- Fase Inicial
- Fase De Seguimiento
- Fases Preparatorias E Iniciales Adicionales

5.4.1.1 Fase Preparatoria

Se caracteriza por que se ejecuta previo al inicio de cada trabajo y luego de aprobados los DARC. Su ejecución requiere que las copias de los DARC aprobados, estén colocados en el sitio del proyecto. En esta fase se incluyen:

- Revisión de DARC
- Exámenes físicos (áreas, equipos, etc.)
- Revisión de actividades riesgosas
- Discusión de procedimientos para el QC
- Discusión de fase de control inicial
- Chequeo de la notificación de inicio

5.4.1.2 Fase Inicial

Se realiza al principio de un ítem específico del trabajo y debe realizarse lo siguiente:

- Chequeo del trabajo
- Verificación de la suficiencia de controles
- Establecimiento del nivel de mano de obra
- Resolución de diferencias
- Comprobación de la seguridad
- Notificación de la fase de inicio (al Supervisor)

5.4.1.3 Fase de Seguimiento

Se realiza durante la ejecución de un ítem específico de trabajo y se realizan las siguientes actividades:

- Comprobaciones diarias
- Registro diario de comprobaciones
- Comprobaciones finales

A continuación en la tabla N° 5.5 se muestra un formato para controlar la colocación de la mezcla asfáltica en la obra, y otro para controlar la colocación del riego de liga, en la tabla N° 5.6:

Tabla N° 5.5

CONTROL DE COLOCACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO:

RUTA:

FECHA DE COLOCACIÓN:

NÚMERO DE PASADAS CON RODO LISO:

NÚMERO DE PASADAS CON NEUMÁTICA:

NÚMERO DE CAMIONES:

INSPECTOR:

Ubicación	Nº del Equipo	Ton colocadas	Hora salida de planta	Hora llegada al proyecto	Hora inicio descarga	Hora final descarga	Temperatura Planta, °C	Temperatura Colocación, °C	Temperatura Compactación °C

OBSERVACIONES

Tabla N° 5.6

CONTROL PARA RIEGOS DE IMPRIMACIÓN Y LIGA EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

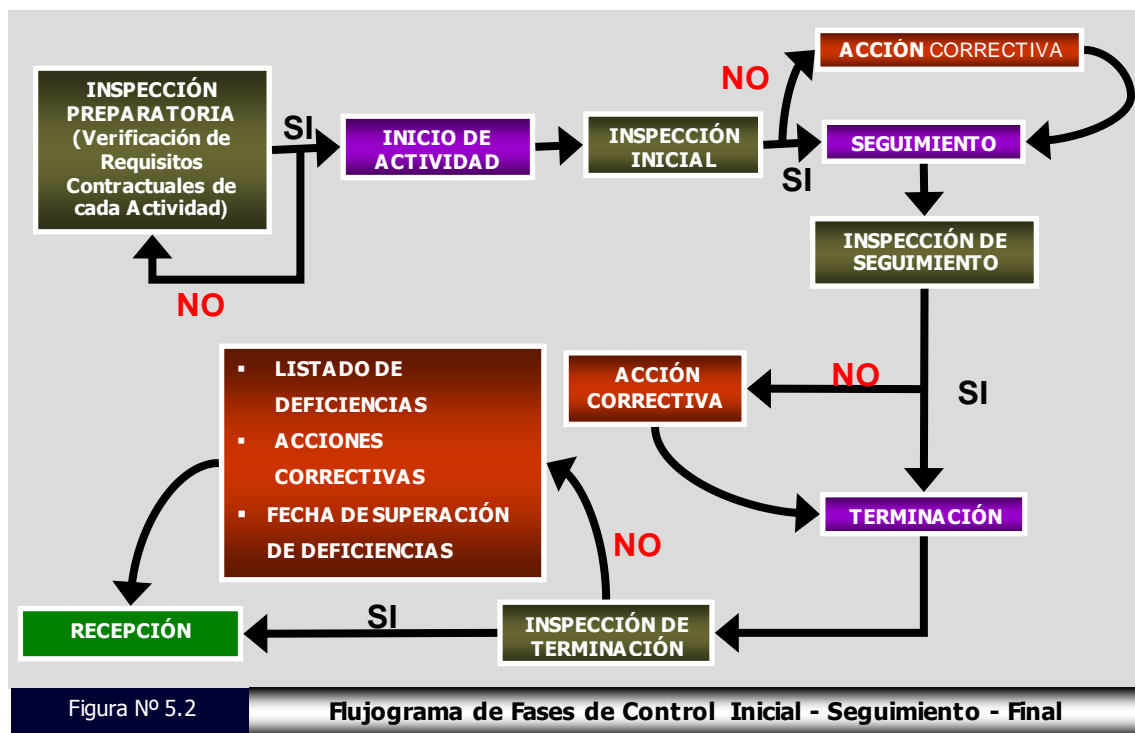
PROYECTO :

RUTA:

DESCRIPCIÓN	DATOS
ESTACIÓN INICIO	
ESTACIÓN FINAL	
HORA INICIO	
HORA FINAL	
TASA DE RIEGO, gal / m ²	
LONGITUD DE RIEGO, m	
ANCHO DE RIEGO, m	
VOLUMEN TOTAL DE RIEGO, gal	
AREA, m ²	
LECTURA INICIAL DEL DISTRIBUIDOR, gal	
LECTURA FINAL DEL DISTRIBUIDOR, gal	
Nº DE FRANJAS A APLICAR	
ANCHO DE LA BARRA DISTRIBUIDORA, m	
CAUDAL DE LA BOMBA, gal / (m x min)	
OBSERVACIONES	

Para una mejor comprensión de las fases del control de calidad se presenta en la tabla 5.7 y en la figura N° 5.2.

Tabla N° 5.7			
RESUMEN DE LAS FASES DE INSPECCIÓN			
FASE	PREPARATORIA	INICIAL	SEGUIMIENTO
CARACTERISTICA	<p>Se ejecuta previo al inicio de cada trabajo y luego de aprobados los DARC</p> <p>Su ejecución requiere que las copias de los DARC aprobados, estén colocados en el sitio del proyecto</p>	<p>Se realiza al principio de un ítem específico del trabajo y debe realizarse lo siguiente:</p>	<p>Se realiza durante la ejecución de un ítem específico de trabajo y se realizan las siguientes actividades:</p>
ELEMENTOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisión de los DARC ▪ Exámenes físicos (áreas, equipos, etc.) ▪ Revisión de actividades riesgosas ▪ Discusión de procedimientos para el Control de Calidad ▪ Discusión de fase de control inicial ▪ Chequeo de notificación de inicio 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chequeo del trabajo ▪ Verificación de la suficiencia de controles ▪ Establecimiento del nivel de mano de obra ▪ Resolución de diferencias ▪ Comprobación de la seguridad ▪ Notificación de la fase de inicio (al Supervisor) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comprobaciones diarias ▪ Registro diario de comprobaciones ▪ Comprobaciones finales



5.4.2 MUESTRAS, ENSAYOS Y ESPECIFICACIONES

Serán inspeccionados todos los materiales para los cuales estén especificadas las pruebas, y su aceptabilidad será comprobada por el Supervisor. A menos que se indique lo contrario, cuando se haga referencia en las especificaciones, norma o método de ensayo adoptado por una asociación técnica reconocida tal como el AASHTO, ASTM significará la especificación, norma o método de ensayo que esté en vigor en la fecha de la invitación de licitación en la cual participo y gano el contratista, relativa a este proyecto.

Los ensayos necesarios deben realizarse de acuerdo con el Plan de Control de Calidad aceptado. Las instalaciones de laboratorio deben mantenerse limpias y

todo el equipo en condiciones apropiadas de trabajo. Debe permitirse acceso irrestricto para que el Contratante revise las instalaciones.

Todos los materiales que se estén empleando quedarán sujetos a inspección, prueba o reensayo, y rechazo en cualquier tiempo previo o durante, su incorporación dentro de la obra. El Supervisor puede permitir el uso de ciertos materiales o construcciones antes de prueba y ensayo, acompañado con Certificaciones de Consentimiento que afirman que tales materiales o construcciones cumplen totalmente con los requerimientos del contrato. Los certificados serán firmados por el fabricante.

Cada lote de tales materiales o construcciones que sean incorporados a la obra será ensayado para comprobar su cumplimiento con las especificaciones. Todas las muestras de los materiales a analizar serán escogidas y/o tomadas por el Supervisor.

Los criterios son desviaciones permisibles de la fórmula de trabajo y se dividen en:

- Límites de acción, donde hay que tomar acción correctiva
- Límites de Suspensión, donde hay que parar la planta.

Las FP-96 y SIECA hablan de un porcentaje de descuento si no se alcanzan los objetivos. Debe definirse para contratos llave en mano un sistema de criterios de aceptación

5.4.3 DOCUMENTACIÓN

Aquí se incluyen los expedientes actualizados del contratista, que proporcionan evidencia clara que se han realizado las actividades y/o los ensayos requeridos del QC. A continuación se listan los más importantes:

1. Áreas de responsabilidades
2. Operatividad de planta/equipos
3. Trabajo realizado cada día
4. Ensayos realizados y resultados obtenidos
5. Muestras ingresadas al laboratorio de QC
6. Actividades de vigilancia fuera del sitio
7. Constancias de evaluaciones de la seguridad
8. Registro de instrucciones dadas y recibidas
9. Declaración de la verificación del Contratista

A continuación se presenta tabla N° 5.8 como un formulario de control general, propuesto para el control de calidad del contratista, en él se evalúan explícitamente los numerales 1, 3, 4, 7,8 y 9 listados previamente:

Tabla N° 5.8

REPORTE DEL CONTROL DE CALIDAD DEL CONTRATISTA

REPORTE DEL CQC		FECHA:	
NÚMERO DEL CONTRATO Y NOMBRE DEL CONTRATISTA:		REPORTE N°:	
DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO:			
CLASIFICACION DEL TIEMPO:		CLASIFICACION:	
CLASE A	No ocurrió ninguna interrupción debido a condiciones ambientales		
CLASE B	El trabajo se paró completamente por malas condiciones ambientales	CLASE:	
CLASE C	El trabajo se paró parcialmente por malas condiciones ambientales	TEMPERATURA:	
CLASE D	El tiempo fue excelente pero el trabajo se paró totalmente por malas condiciones ambientales anteriores.	MAXIMA	°C
		MINIMA	°C
CLASE E	El tiempo fue excelente pero el trabajo se paró parcialmente por malas condiciones ambientales anteriores.	PRECIPITACION:	
OTRA	Explicar	PULGADAS MILIMETROS	
ÁREA DE TRABAJO DE RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA/SUBCONTRATISTA REALIZADAS HOY			
Lista permanente de ítems de equipos tanto para trabajo lento o normal			
a.			
b.			
c.			
d.			
e.			
f.			
g.			
1. TRABAJO EJECUTADO HOY: (Indicar localización y descripción del trabajo ejecutado. Referir el trabajo realizado por su parte o subcontratistas utilizando la letra de la lista anterior)			
2. TIPO Y RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN: (Indicar si: P - Preparatoria, I - Inicial, o F - Contiene e incluye el trabajo satisfactorio terminado o acciones que se tomarán para corregir deficiencias)			

Continuación tabla N° 5.8

REPORTE DEL CONTROL DE CALIDAD DEL CONTRATISTA

3. ENSAYOS EJECUTADOS REQUERIDOS POR LOS PLANOS Y/O ESPECIFICACIONES Y RESULTADOS DE ENSAYOS

4. LAS INSTRUCCIONES VERBALES RECIBIDAS: (enumere cualquier instrucción dada por el personal de la Supervisión o el Ministerio a raíz de deficiencias en la construcción. El rechequeo requerido, etc., con la acción correctiva a realizar.)

5. OBSERVACIONES: (resolver cualquier conflicto en planos, especificaciones o instrucciones: aceptabilidad de materiales entrantes : actividades de la vigilancia fuera del sitio, el progreso del trabajo, retrasos, las causas y grado del mismo; días no trabajados y sus razones)

6. SEGURIDAD: (Incluir cualquier infracción incluidas en el plan de seguridad aprobado, o incluidos dentro del manual de seguridad o instrucciones de la Supervisión. Especificar la acción correctiva a tomar)

INSPECTOR

7. CERTIFICACION DEL CONTRATISTA

Certifico que el informe antedicho está completo y correcto y que todo el material y equipo usado, trabajo realizado y las pruebas conducidas durante este período de divulgación estaban en conformidad terminante con los planes y las especificaciones del contrato excepto según lo observado arriba.

REPRESENTANTE AUTORIZADO APROBADO DEL CONTRATISTA

El proceso de Recarpeteo con Mezclas Asfálticas en Caliente, que es objeto de estudio de esta investigación, debe destacarse que requiere de una cantidad considerable de trabajo previo, el cual debe organizarse y planificarse previamente, así como controlarse continuamente en el proceso de ejecución. Por esa razón a continuación se organizan las actividades principales relacionadas a tal proceso:

Actividad Principal: Recarpeteo con Mezcla Asfáltica en Caliente

Actividades previas:

1. Diseño y aceptación de Mezcla Asfáltica
2. Diseño y aceptación de Espesores de Pavimento
3. Colocación y aceptación del Riego de Liga

Actividades previas (para numeral 3 de lista anterior):

- Preparación y aceptación de superficie de colocación (incluye reparaciones, y/ó fresado y limpieza de superficie)

Para propósitos de este documento, a continuación solo se detallaran consideraciones relativas al Plan de Control de Calidad, para la actividad de Recarpeteo con Mezcla Asfáltica.

5.4.3.1 Recarpeteo con Mezcla Asfáltica en Caliente

a) DARCs Previos a la Actividad:

DARCs que deben contar con dictamen de conformidad previo al inicio de la actividad, se presentan en la tabla N° 5.9 y ejemplos de formularios de control para ellos, se anexan según indica la numeración en la columna: N° DE TABLA de la tabla N° 5.9.

Tabla N° 5.9 LISTA DE DARCs POR ACTIVIDAD, PREVIOS A LA ACTIVIDAD DE RECARPETEO		
Nº	ACTIVIDAD	Nº DE TABLA
ASFALTOS:		
1.	Reporte de muestreo de ligante bituminoso según AASHTO T 40, en tanque de la planta.	
2.	Resultados de ensayos del ligante bituminoso que permitan determinar conformidad con AASHTO M20.	
3.	Certificación del suministrante que el ligante bituminoso cumple con FP - 03 702.01	5.10
4.	Curva de viscosidad - temperatura del ligante bituminoso.	5.11
5.	Temperatura de almacenamiento y mezclado del ligante bituminoso.	
RESULTADOS DE ENSAYOS DEL AGREGADO GRUESO MUESTREADO EN ACOPIOS DE PLANTA		
6.	Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso	5.12
7.	Abrasión de los Ángeles, AASHTO T 96.	5.13
8.	Partículas planas y alargadas	5.14
9.	Cubicidad de las partículas (Caras fracturadas)	5.15
10.	Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T 104	5.16
11.	Índice durabilidad (agregado grueso) AASHTO T 210.	
RESULTADOS DE ENSAYOS DEL AGREGADO FINO MUESTREADO EN ACOPIOS DE PLANTA		
12.	Determinación del peso específico y absorción del agregado fino	5.17
13.	Sanidad del agregado fino por el uso del sulfato de sodio o sulfato de magnesio AASHTO T-104	5.18
14.	Equivalente arena, ASTM D-2419, AASHTO T 176.	5.19
15.	Índice de durabilidad (fino) ASTMD-3744, AASHTO T 210.	5.20
16.	Certificado del productor que el relleno mineral cumple con AASHTO M-17.	

Tabla N° 5.9		
LISTA DE DARCS POR ACTIVIDAD, PREVIOS A LA ACTIVIDAD DE RECARPETEO		
N°	ACTIVIDAD	N° DE TABLA
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA MEZCLA DE TRABAJO ANTES DE AÑADIR EL ASFALTO (ÁRIDOS EN FRÍO)		
17.	Grumos de arcilla y partículas deletéreas AASHTO T-112.	
18.	Granulometría AASHTO T 27 y T11.	
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA MEZCLA DE TRABAJO		
	Ensayo Marshall (AASHTO T 245), para mezcla de 75 golpes indicando:	5.21
19.	Estabilidad (kN).	5.21
20.	Flujo (1/100 cm).	5.21
21.	Vacíos en la mezcla (%)	5.21
22.	Vacíos en el agregado mineral (%)	5.21
23.	Razón de polvo / asfalto efectivo	
INSPECCIÓN DE CAMPO		
24.	Certificado de la calibración del alimentador de la planta	
25.	Copia del registro impreso de producción de la planta (del sistema de control computarizado de la planta)	
26.	Reporte de inspección por parte del Ingeniero de Control de Calidad o su delegado, que la planta productora de mezcla asfáltica cumple con los requisitos de AASHTO M 156 y FP-96 401.04	
27.	Reporte de inspección por parte del Ingeniero de Control de Calidad o su delegado, que las máquinas pavimentadoras cumplen con los requisitos de FP-96 401.05	
28.	Programa de pavimentación, incluyendo frentes a trabajar, duración de actividades, programa de equipo de pavimentación y trituración, etc.	
29.	Resultados de los ensayos del tramo de prueba: Densidad AASHTO T 166 y AASHTO T 209, contenido de asfalto AASHTO T 164, granulometría AASHTO T 30.	

Tabla N° 5.10

CERTIFICADO DE CALIDAD DEL ASFALTO**CERTIFICADO DE CALIDAD**

FECHA:
PRODUCTO:
TANQUE:
CAMIÓN:
CLIENTE:

PRUEBAS DE LABORATORIO	NORMA		RESULTADOS	UNIDADES
	ASTM	AASHTO		
Viscosidad Absoluta a 140 °F				
Viscosidad Cinemática a 275 °F				
Penetración a 77 °F, 100g /5 s				
Punto de Destello COC				
Gravedad API (60/60) °F				
Gravedad Específica (60/60) °F				
Solubilidad en Tricloroetileno				
ENSAYOS EN RESIDUO DE LA PRUEBA DE PELICULA DELGADA (TFDT)				
Pérdida de Masa, 6h/163 °C	D-1764	T-179	0.06	% masa
Viscosidad Absoluta a 140°F	D-2171	T-202	6467	Poises
Ductilidad a 77 °F, 5 cm/min	D-113	T-51	145	cm

Este producto cumple con las especificaciones establecidas en las tablas 1 y 2 de las normas ASTM D-3381 y AASTHO M-228

Analista de Laboratorio

Tabla N° 5.11

CURVA DE VISCOSIDAD – TEMPERATURA DEL LIGANTE BITUMINOSO

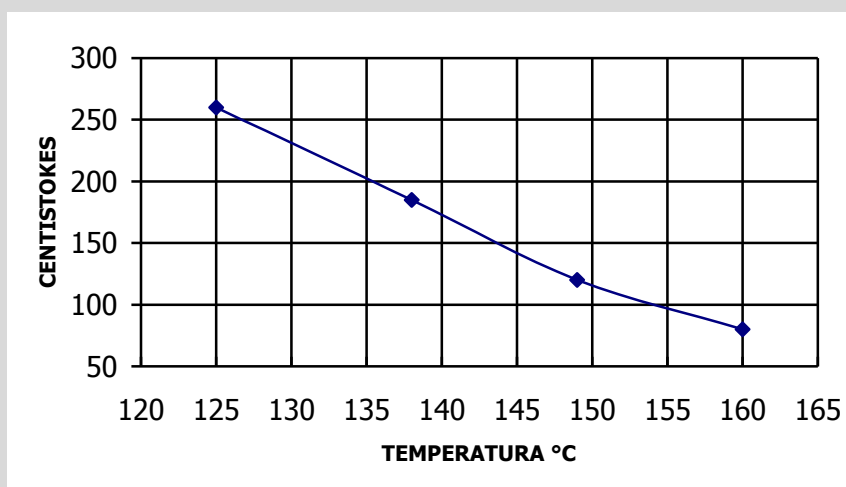
PROYECTO:

UBICACIÓN:

CEMENTANTE: Betún

FECHA:

Temperatura	Norma	Centistoke*	Promedio	Temperatura	Norma
125°C	ASTM D-88	260			260
138°C		185			185
149°C		120			120
160°C		80			80



* Unidades de Viscosidad

Tabla N° 5.12

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Proyecto : _____
 Ensayo N°: _____
 Procedencia: _____
 Muestra: _____
 Laboratorista: _____
 Fecha: _____

Ensayo N°		1	2	
Peso de la muestra al aire Secada al horno (A) en gramos		1299.1	1566.8	Promedio=
Peso muestra saturada superficialmente seca (B) en gramos		1326.5	1599.3	
Peso de la muestra saturada en el agua (C) en gramos		803.3	967.8	
B-C		523.2	631.5	
A-C		495.8	599	
B-A		27.4	32.5	
Peso Específico "Masivo"	= $\frac{A}{B-C}$	2.483	2.481		2.482
Peso Específico "Masivo" (Saturado con superficie seca)	= $\frac{B}{B-C}$	2.535	2.533	2.534
Peso específico "Aparente"	= $\frac{A}{A-C}$	2.620	2.616	2.618
Porcentaje de Absorción	= $\frac{B-A}{A} \times 100$	2.109	2.074	2.092

Calculó: _____

Revisó: _____

Tabla N° 5.13

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN EN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES
ASTM C-131.**

Proyecto:			
Ubicación:			
Fecha:			
Procedencia:			
Material:			
Laboratorista:			
Ensayo No.	1	2	3
Banco	-		
Ensayo de graduación	B		
Peso inicial (g).	5000		
Peso retenido malla No.12 (g)	4173		
Diferencia (g)	827		
% de desgaste (g).	16.5		

Tabla N° 5.14

ENSAYO DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS

Proyecto:		
Ubicación:		
Fecha:		
Procedencia:		
Material: Grava mal graduada, gris oscuro (GM)		
Laboratorista:		
Ensayo No.	1	%
Peso inicial de la muestra (g)	500	100.00
Peso partículas planas y alargadas (g)	43.1	8.68
Peso partículas chancadas (g)	456.6	91.32

Tabla N° 5.15

ENSAYO DE CUBICIDAD DE LAS PARTÍCULAS

Proyecto:
 Ubicación:
 Fecha:
 Procedencia:
 Material: Grava mal graduada, gris oscuro (GP) Grava 3/4"
 Laboratorista:

Peso Inicial (g)	Partículas Alargadas (g)	Partículas Lajas (g)	Partículas Cantos Rodados (g)
1245	1245	21.20	0.0
		500	100.00

Tabla N° 5.16

ENSAYO SANIDAD DE LOS AGREGADOS POR EL USO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO AASHTO T-104

Proyecto:
 Ubicación:
 Fecha:
 Procedencia:
 Material: Grava mal graduada, gris oscuro (GP)
 Laboratorista:
 Muestra:
 Tipo de solución utilizada: Sulfato de sodio.
 No. de ciclos: 5

Mallas		Peso Inicial (g)	Suma Total (g)	Peso después del Ensayo (g)	Valor de Sanidad
Pasa	Retenido				
3/4"	1/2"	670	1000	988.2	1.18
1/2"	3/8"	330			

Tabla N° 5.17

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Proyecto: Ubicación: Fecha: Procedencia: Material: Chispa Laboratorista:			
Ensayo No.	1	2	
Recipiente No.	2	2	
Peso Frasco (g)	430.5	430.2	
Peso Frasco + agregados sss (g)	930.5	930.5	
Peso agregado sss (g) (W)	500	500	
Peso Seco + Tara (g)	600.5	630.3	
Tara (g)	122.9	159	
Peso Seco (g) (A)	477.6	478.5	
Peso del Frasco + Agua T° C (g) (B)	1442.7	1442.7	
Peso del Frasco + Agua + Agregado Af (g) (C)	1755.9	1756	
Densidad de masa saturada superficialmente seca	2.677	2.678	2.677
Densidad de masa seca	2.557	2.563	2.56
Peso especifico aparente	2.905	2.896	2.908
Porcentaje de absorción	4.69	4.493	4.592
$\frac{(A)}{(B+W-C)} = \text{Peso Especifico Seco} = 2.560$			
$\frac{(A)}{(B+A-C)} = \text{Peso Especifico Aparente} = 2.908$			
$\frac{(A)}{(B+W-C)} = \text{Peso Especifico Seco} = 4.592$			
$\frac{(W)}{(B+W-C)} = \text{Peso Especifico Saturado Superficialmente Seco} = 2.677$			

Tabla N° 5.18

ENSAYO SANIDAD DE LOS AGREGADOS POR EL USO DE SULFATOS DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO AASHTO T-104.

Proyecto:
 Ubicación:
 Fecha:
 Procedencia:
 Material: Arena mal graduada, gris oscura (SP) Chispa
 Laboratorista:
 Muestra:
 Tipo de solución utilizada: sulfato de sodio.
 No. de ciclos: 5

Mallas		Peso Inicial (g)	Peso Final del Ensayo (g)	% Perdido	Valor de Sanidad
Pasa	Retenido				
3/8"	Nº 4	100	98.8	1.2	5.4
4"	Nº 8	100	98.7	1.3	
8"	Nº 16	100	98.6	1.4	
16"	Nº 30	100	99.4	0.6	
30"	Nº 50	100	99.1	0.9	

Tabla N° 5.19

ENSAYO VALOR EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D-2419.

Proyecto:
 Ubicación:
 Fecha:
 Procedencia:
 Material: Arena mal graduada, gris clara (SP) Chispa
 Laboratorista:

Ensayo N°	1	2	3	4
Lectura de Arena A	4.3			
Lectura de Finos B	5.3			
Equivalente de Arena C	81.1			
	500			

Tabla N° 5.20

ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD EN AGREGADOS PÉTREOS ASTM D-3744.

Proyecto:
Ubicación:
Fecha:
Procedencia:
Material:
Laboratorista:

Identificación de la Muestra	Método	Altura Inicial	Altura Sedimento	Índice de Durabilidad
Chispa la Cantera	"B"	8	6.4	80%
Chispa la Cantera	"B"	7.7	6.3	81.80%
Chispa la Cantera	"B"	7.8	6.2	79.50%
Promedio:				80.43%

OBSERVACIONES:

Tabla N° 5.21

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA MEZCLA DE TRABAJO

Muestra N°:	Capa: Carpeta	Fecha:	Hora		
Trabajo N°:	Uso: Rodamiento	Operador:			
Procedencia:	Revisado:				
Descripción:	METODO MARSHALL				
	DENSIDAD, ESTABILIDAD Y DEFORMACIÓN				
N° de Probeta	1	2	3	4	5
Peso Aire Seco, A	1195.3	1196.6	1178.6		
Peso al Aire Superficial Seco, B	1199.7	1206.7	1183.0		
Peso Superficial o Peso en Agua, C	661.4	665	651.8		
Vol. De Probeta, B-C=V	538.3	541.7	531.2		
Densidad Probeta, A/V=D	2.221	2.208	2.219		
Densidad Media, D	2.211				

Continuación tabla N° 5.21

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA MEZCLA DE TRABAJO

Estabilidad	Lectura Anillo	325	327	347		
	Lb	3110.0	3169.0	3321.0		
	Corregida, Lb	2892.0	2947.0	3088.0		
	Media, Lb	2976.0				
Deformación	Flujo	11	11	12		
	mm	2.794	2.794	3.048		
	Media, mm	2.879				
Estabilidad/Deformación						
Factor de Corrección		0.93	0.93	0.93		
ANÁLISIS DE VOLUMENES Y HUECOS						
% Peso Mezcla	Asfalto	4.500				
	Agregados	95.500				
% Volumen	Peso Asfalto	9.950				
	Peso Agregado	211.151				
	Vol. Asfalto	9.640				
	Vol. Agregados	84.859				
	Vol. Mezcla	93.999				
% Huecos	Mezcla	6.001				
	Agregados	15.641				
	Relleno	61.633				
Peso Específico Asfalto = 1.032		Peso Especifico Agregados= 2.503		Cte. Anillo K=0.098		
Observaciones:						

b) Criterios de Aceptación para la Mezcla Asfáltica en Caliente

Debido a que generalmente las especificaciones contemplan el pago de esta actividad como una evaluación estadística con descuentos en el precio unitario para niveles inferiores de calidad, es necesario desarrollar criterios de aceptación de calidad. Se utilizarán los siguientes criterios:

1. El límite para acción correctiva indica un valor de desviación o tolerancia que debe ser excedido, debe generar un informe de no conformidad grave del Ingeniero de Control de Calidad, y debe definirse la acción correctiva. El límite de suspensión indica un valor de desviación o tolerancia que debe ser excedido, debe generar un informe de no conformidad crítico del Ingeniero de Control de Calidad, y debe definirse la acción correctiva. En este último caso la producción se suspenderá hasta que la acción correctiva sea implementada y se obtenga el: es conforme, del supervisor.
2. Las tolerancias se definen en una tabla como la mostrada abajo (ver tabla N° 5.22, con valores típicos incluidos). Estas tolerancias representan desviaciones con respecto a la fórmula de trabajo (JMF, por sus siglas en inglés). Se utilizarán los límites de suspensión como criterio de aceptación para la producción de la mezcla asfáltica incorporada al proyecto. Para el tramo de prueba, se definen por separado las tolerancias admisibles.

c) Puntos de control.

Para llevar a cabo un eficiente control de calidad, el contratista debe definir específicamente las actividades a inspeccionar, el orden de ejecución de estas, las especificaciones contractuales, los muestreos necesarios (tanto en cantidad como en frecuencia), un mecanismo eficiente de inspección, criterios de aceptación especificados y formularios de control adecuados para registrar todos los aspectos mencionados, de manera oportuna y eficiente. Con este propósito en esta investigación se consideró necesario anexar una guía de inspección para el control de calidad del contratista, con ejemplos de valores típicos especificados (ver tabla N° 5.23). Los formularios con códigos FQC-03, FQC-06, 15, 16, 17 y 18 a los que hace alusión la tabla N° 5.23, se agregan en las tablas N° 5.24 a la N° 5.29 respectivamente.

Tabla N° 5.22

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROPIEDAD	TRAMO DE PRUEBA	MEZCLA INCORPORADA A LA OBRA			
		RESULTADOS DE ENSAYOS INDIVIDUALES EN EL ÚLTIMO DÍA DE PRODUCCIÓN		PROMEDIO DE LAS ÚLTIMAS CUATRO MUESTRAS	
		LÍMITE PARA ACCIÓN CORRECTIVA	LÍMITE DE SUSPENSIÓN	LÍMITE PARA ACCIÓN CORRECTIVA	LÍMITE DE SUSPENSIÓN
% que pasa la malla N°4 y mayores	JMF±8				
% que pasa la malla N°8, N°16, N°30 y N°50	JMF±6				
% que pasa la malla N°100 y N°200	JMF±2				
% que pasa la malla N°4		JMF±6	JMF±8	JMF±4	JMF±5
% que pasa malla N°30		JMF±4	JMF±6	JMF±3	JMF±4
% que pasa la malla N°200		JMF±1.4	JMF±2	JMF±1.1	JMF±1.5
Contenido de Asfalto (%)	JMF±0.5 (ninguno de los ensayos debe exceder este valor)	JMF±0.4	JMF±0.5	JMF±0.2	JMF±0.3
Contenido de Vacíos (%)	JMF±1 (promedio de 3 ensayos)	JMF±1.2	JMF±1.6	JMF±1.0	JMF±1.2
Vacíos en el agregado Mineral	14 mínimo (promedio de 3 ensayos)				
Estabilidad Mínima	8 kN (promedio de 3 ensayos)	8 kN	7.2 kN	8.8 kN	8kN
Flujo (1/100 cm)	20-40 (promedio de 3 ensayos)	20-40	22-42	18-38	20-40
Densidad en la capa colocada (% de la densidad máxima teórica, según ensayo AASHTO T 209 en muestra del día de producción)	92-98 (promedio de 4 núcleos)	92 min	90 min	94 min	92 min
Densidad en la junta (% de la densidad máxima teórica, según ensayo AASHTO T209 en muestra del día de producción)	92-98 (promedio de 4 núcleos)	92 min	90 min	94 min	92 min
Resistencia retenida (%)	75 min	75	70	79	75

Tabla N° 5.23

PUNTOS DE INSPECCIÓN											
Actividad		LABORES DEL PLAN DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONTRATISTA							LABORES DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD (SUPERVISOR)		
N°	Descripción del Proceso	Norma SIECA - 2001	Tipo de Inspección	Tipo de Actividad del QPC	Lote, intensidad o frecuencia	Criterio de Aceptación	Tipo de punto de Inspección	Registro	Intensidad de ensayos de contraste	Actividad de comprobación	Registro
1	Preparación	401	Preparatoria	Revisión de todos los requisitos contractuales			PE	FQC-003		Auditoria	Informe
2	Trazo y premarcado de tramo de pavimentación	152	Seguimiento	Recepción del trazo y premarcado	100%	Fiel reflejo del diseño	PP	Libretas		Análisis de registros	Libretas
3	Autorización para iniciar los trabajos	401	Seguimiento	Inspección previa al inicio de los trabajos	100%	- Manejo del tránsito según plan de seguridad - Inspección del equipo y aparatos de medición	PE, para corte del tráfico PP otros casos	FQC-015		Inspecciones	FQC-015
4	Colocación y compactación	401	Seguimiento	Control del proceso de colocación	100%	FP-96 – 401.13 hasta 401.15	PI	FQC-016		Inspecciones	FQC-06
5	Colocación y compactación	401	Seguimiento	Inspección del proceso de compactación y colocación	Cuatro veces al día, cada frente	FP-96 – 401.13 hasta 401.15	PI	FQC-006		Inspecciones	FQC-06
6	Colocación y compactación	401	Seguimiento	Toma de núcleos y densidades, AASHTO T 166, AASHTO T 209, AASHTO T 238	Núcleos cada 500 T, densidades nucleares cada 40 m-carril	Ver Tabla N° 5.22	PI	FQC-017	5%	Toma de núcleos y densidades, AASHTO T 166, AASHTO T 209, AASHTO T 238	FQC-017
7	Producción en Planta	401	Seguimiento	Toma de ensayos en planta: humedad de áridos en frío AASHTO T 255, contenido de asfalto AASHTO T 164, Granulometría de áridos en frío, AASHTO T 27 y T 11, temperatura del asfalto, temperatura de la mezcla, porcentaje de vacíos y ensayo Marshall AASHTO T 245	Humedad una vez al día, granulometría dos veces al día, temperatura 4 veces al día, cuatro muestras al día para ensayo Marshall	Ver Tabla N° 5.22	PI	Partes de ensayo	5%	Toma de ensayos en planta: Humedad de áridos en frío AASHTO T 255, Contenido de asfalto AASHTO T 164, Granulometría de áridos en frío, AASHTO T 27 y T 11, Temperatura del asfalto, Temperatura de la Mezcla, Porcentaje de vacíos y ensayo Marshall AASHTO T 245	Partes de ensayo
8	Control de Producción	401	Seguimiento	Elaboración de gráficas de control	Actualización una vez al día	Ver Tabla N° 5.22	PI	FQC-018		Análisis de registros	Informes
9	Superficie Terminada	401	Seguimiento	Medición de rugosidad	100%	FP-96 – 401.16	PE	Partes de ensayo		Análisis de registros	Informes

Tabla N° 5.24

Tabla N° 5.24						
FQC - 003					No.	:
Acta de Reunion Preparatoria					Fecha	:
					Página	:
Nota: Anexe a este formulario la lista de asistencia, y demas informacion indicada						
Actividad			Seccion de las Especificaciones:	Secciones del EDC:		
El Administrador del Proyecto fue convocado a las:			horas de fecha: (convoque con 24 hrs de anticipacion)			
I. Lista del Personal Presente:		Ver lista de asistencia				
II. Revision de los DARC:						
1.- Lista de DARC Requeridos:						
DARC No.	Fecha	Descripcion	Posee dictamen de Conformidad	Observaciones		
2.- Materiales y elementos prefabricados a Utilizar (anexe reportes de inspeccion. De existir no conformidades describa el procedimiento correctivo)						
Cantidad Estimada	Descripcion		Fecha de Llegada a obra	Fecha del reporte de Inspeccion	Observaciones	
IV. Planos y especificaciones						
1.- Poseen los involucrados los planos de diseño y de taller correspondientes						
Si <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>		Anexe lista de distribucion de planos con firmas de recibido		
2.- Resumen del procedimiento constructivo a utilizar						
3.- Ha sido aceptado el trabajo precedente?						
Si <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>				
(Anexe registros del sistema de control de calidad que lo comprueban la aceptacion: ensayos, inspecciones, etc.)						
(En caso de no estar disponibles, incluya los registros de aceptacion como parte de la inspeccion inicial, previa aprobacion del gobierno)						
V. Control de calidad						
Actividad del QCS	Tipo: inspeccion, ensayo, medicion, etc.	Lote, intensidad o frecuencia	Criterio de Aceptación	Tipo de Punto de Inspección	Registro	
2.- Han sido auditadas las instalaciones de ensayo?						
Si <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>				
(Anexe registros del control de calidad que los comprueban: ensayos inspecciones, etc.)						
VI. Seguridad e Higiene						
1.- Seccion del Plan de Seguridad que rige esta actividad						
2.- Medidas de Seguridad a implementarse por el Contratista						
Actividad	Riesgo		Medida			
VIII. Observaciones del Administrador del Proyecto						
IX. Firmas						
Preparado por			Es conforme			
Contratista			Supervisor			

Tabla N° 5.25

FQC - 006	No. :
Reporte de Inspeccion	Fecha :
	Página :

Nota: Anexe a este formulario las fotocopias de las libretas de campo, de haberlas.

<u>Inspeccion solicitada por :</u>	<u>Sector o estructura Inspeccionada :</u>	<u>Cantidad :</u>
<u>Fecha y Hora de solicitud</u>		<u>Informe de No Conformidad Generado</u>

Elementos a Inspeccionar	Descripcion de las características a inspeccionar

Resultado de la Inspeccion

	Inspector:

Tabla N° 5.26

FQC - 015		No. :	
Autorización para colocación de Aglomerado Asfáltico		Fecha :	
		Página :	
Anexe las copias de los partes de ensayo y gráficas de control del día anterior			
1.0) Ubicación del Tramo a Controlar			
Tipo de Material:	Tramo No.	Desde Estación:	Offset derecho:
<input type="checkbox"/> Rodaje		Hasta Estación:	Offset Izquierdo:
<input type="checkbox"/> Hombros			Espesor:
			Agr. Max.
Cantidad de Mezcla Asfáltica :	Código de Mezcla :	Fecha y Hora Solicitada de Colocación:	Firma Superintendente:
2.0 Lista de Inspección Previa:			
2.1 Obras previas			
1) Se ha recibido el premarcado con topografía	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
2) Inspeccion física satisfactoria de la condición de la base imprimada	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
3) De no ser satisfactoria, se ha definido el punto de renivelación y reparación de la base	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
4) Se ha barrido satisfactoriamente el material de secado	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
5) En tramos de vía existente, se han colocado los brocales de los pozos en nivel correcto	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
6) En vías urbanas, están los bordillos en nivel aceptable	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
7) Se han revisado las guías de la pavimentadora	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
8) Se han aserrado las juntas transversales con sierra	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
9) Es el espesor de la capa menos que 1.5 veces el agregado max.	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
2.2 Seguridad y Manejo de Trafico			
1) Señalización para manejo de trafico conforme plan de seguridad	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
2) Inspeccion física de los equipos para elementos de seguridad (alarmas, frenos, luces, etc.)	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
3) Inspección de los EPI con resultados satisfactorios	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
2.3 Herramientas y equipo			
1) Resultados satisfactorios de la inspección del equipo de medición (termómetros, cintas, etc.)	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
2) Existen suficientes herramientas en condición adecuada (rastrillos, palas, etc.)	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
3) Inspección y ajuste del screed y los vibradores de la pavimentadora	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
4) Inspección y ajuste de la presión de inflado de las compactadoras neumáticas	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
5) Inspección bajo presión de los sistemas hidráulicos de los camiones y demás maquinaria	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
6) Inspección de los sistemas de aceite y combustible de los equipos no detectó fugas	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
7) Inspección del estado del rodo liso, operación en marcha, vibración y superficie nivelada	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
8) Inspección de las camas de los camiones no detectó residuos de diesel	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
9) Se cuenta con equipo manual para compactar lugres donde no es correcto el uso del rodo	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
10) Inspección y ajuste del screed de la pavimentadora	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
3.0 Ensayos del penúltimo día de producción			
	Ensayos Individuales		Promedio de los últimos 4 ensayos
No.			
Fecha			
Hora			
Metros cubicos acumulados colocados en este tramo			
Tipo : (P - Primer ensayo) (R- rechequeo)			
Ensayo No.			
% que pasa la malla No. 4			
% que pasa la malla No. 30			
% que pasa la malla No. 200			
Contenido de Asfalto (%)			
Contenido de Vacíos (%)			
Estabilidad mínima			
Flujo (1/100 cm)			
Densidad en la capa colocada (% de la densidad Marshall)			
Densidad en la junta (% de la densidad Marshall)			
Resistencia retenida (%)			
4.0 Firmas de Autorización			
Ingeniero de Seguridad (Firma y fecha)	Control de Calidad- Campo (Firma y fecha)	Control de Calidad- Planta (Firma y fecha)	Supervisor (es conforme)
Observaciones :			
Inicio de Colocación		Fin de la Colocación	

Tabla N° 5.29

FQC - 018								No. :
Gráficas de Control de Producción de Mezcla Asfáltica								Fecha :
Nota: Anexe a este formulario fotocopias de los partes de ensayo								Página :
Parámetro:	Planta:	De Fecha	Hasta Fecha	Unidad	Valor de la Fórmula de Trabajo	Limite de accion Correctiva	Limite de Suspensión	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;"> <p>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14</p> <p>— — — — —</p> <p>Valor de la Fórmula de Trabajo</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>— — — — —</p> <p>Limite de accion Correctiva</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>— — — — —</p> <p>Limite de Suspensión</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>— — — — —</p> <p>Resultados Diarios</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>— — — — —</p> <p>Promedio de los últimos 4 resultados</p> </div> </div>								
No.								
Código del Ensayo								
Fecha								
Cantidad producida cada fecha								
Cantidad producida acumulada								
Valor del Parámetro								
Promedio últimos Cuatro ensayos								
Observaciones								Inspector

5.5 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DEL SUPERVISOR

5.5.1 INSPECCIÓN BÁSICA

Todos los días se hace una inspección a:

- Los procedimientos de muestreo
- El procedimiento de ensayo
- El procedimiento de construcción
- Los resultados del trabajo del día anterior

Al empezar y cada mes se inspeccionan:

- Los equipos de ensayo
- Los equipos de medición
- Al empezar y cada tres meses se verifica la Calibración del Equipo
- Se genera un reporte de cada inspección si una inspección detecta desviaciones de la especificación con respecto a:

- El equipo de medición y ensayo
- El trabajo realizado
- El procedimiento constructivo,

Se genera un informe de no conformidad.

5.5.2 SUPERVISIÓN AL LABORATORIO DEL CONTRATISTA

Esta fase comprende las siguientes verificaciones por parte del Supervisor:

- Procedimientos de ensayo
- Capacidad instalada de laboratorio
- Métodos de ensayos
- Formatos y sistema de numeración del registro de control de identificación de ensayos.
- Datos de calibración de equipos

Estas verificaciones se hacen con el respaldo de ensayos de contraste, ensayos de repetición, y revisión de la calibración. Se listan a continuación la cantidad básica de ensayos de contraste a efectuar:

- De cada 80 ensayos del Laboratorio del Contratista, se hacen:
 - Un ensayo de contraste partiendo la muestra
 - Tres ensayos de contraste muestreados independientemente por el Supervisor
 - Revisión de existencia de manuales de procedimiento
 - Revisión de existencia de normas de referencia
 - Revisión de trazabilidad
 - Revisión de registros

5.5.3 SE GENERA UN INFORME DE NO CONFORMIDAD

- Si una inspección detecta que están fuera de la especificación:
 - El equipo de medición y ensayo
 - El trabajo realizado
 - El procedimiento constructivo

- Se pone una nota preventiva en la Bitácora, si una inspección detecta que se están utilizando:
 - Procedimientos que la especificación no cubre, pero que no son aconsejables ó
 - Violaciones al plan de seguridad.

5.5.4 NOTIFICACIÓN DE NO CONFORMIDAD

Notificación hecha por el Supervisor cuando un ítem no cumple con las especificaciones del proyecto.

El Contratista debe proceder a rectificar lo indicado por el Supervisor.

5.5.5 TRATAMIENTO DE NO CONFORMIDADES

- La porción de la obra cubierta por el informe de No Conformidad no es sujeta a pago

- La no Conformidad se elimina:

- Muestreando en conjunto y ensayando en un tercer laboratorio, y este resultado está dentro de especificación o acordando una acción correctiva y verificando su cumplimiento. Para controlar las acciones correctivas, puede utilizarse la siguiente hoja de registro (ver tabla N° 5.30):

Tabla N° 5.30				
REPORTE DE ACCIONES CORRECTORAS				
Nombre o Código del Servicio:				
N° de Orden	Fecha de Apertura	No conformidad	Origen de La acción	Plazo de Cierre

A continuación la tabla N° 5.31, se propone para el control de las acciones correctivas y preventivas del contratista, en donde las instrucciones para su utilización se listan a continuación:

1. Se anota la edición de la Acción Correctora (AC)
2. Se anota el número de la AC
3. Denominación o descripción del servicio en que se ha detectado la No Conformidad (NC)
4. Código del servicio
5. Fecha, firma y nombre de la persona que edita la AC
6. Fecha, firma y nombre de la persona que aprueba la AC

7. Se anota el número del informe de No Conformidad que da lugar a la AC
8. Denominación o descripción de la actividad afectada por la NC
9. Anomalías a las que se atribuye la NC
10. Persona, o equipo, encargado del estudio de la AC
11. Descripción de la AC
12. Responsable de la AC
13. Plazo previsto de implementación de la AC
14. Plazo real de implementación de la AC
15. Se anota con una X en cada una de las casillas que correspondan como resultado de la inspección posterior a la AC
16. En caso de persistir la NC, se anota el número de una nueva Acción Correctora que se emprende, con la firma del Jefe del Departamento, o de la persona designada por él, como responsable de ello, y su fecha
17. Firma del Jefe del Departamento, o de la persona designada por él, como responsable de que la NC ha sido subsanada, y fecha en que la NC se considera subsanada, y fecha en que la NC se considera cerrada
18. Firma del Jefe de Calidad, o persona designada por él, como responsable de la verificación de que la AC ha sido correcta, y fecha en que la AC se considera cerrada

Tabla N° 5.31

PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS DE CALIDAD ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS DEL CONTRATISTA						
Contratista:	POC 11-01 ED 3	ACCION CORRECTORA	1. INC Edic	5. EMISIÓN Fecha: Firma: Nombre:		
3. SERVICIO:			2. INC Nº	6. APROBACIÓN Fecha: Firma: Nombre:		
			4 Código del Servicio			
7. Corresponde al informe de no conformidad Nº						
8. NC Actividad Afectada						
9. Anomalías a las que se Atribuyen la NC						
10. persona o equipo encargado del estudio de la Acción Correctora						
11. Descripción de la Acción						
12. Responsable de la Acción Correctora						
13. Plazo previsto de Implementación				14. Plazo real de implementación AC		
15. Inspección posterior	Eliminadas Las anomalías	si	<input type="checkbox"/>	Persiste la NC	si	<input type="checkbox"/>
		no	<input type="checkbox"/>		no	<input type="checkbox"/>
19. A quien se encarga el estudio de la Acción Correctora		20. No conformidad Subsanada		Fecha: Firma:		

5.5.6 INSPECCIÓN DE LA FINALIZACIÓN

Inspecciones a realizar:

- Inspección de lo no aceptado
- Inspección Pre-Final
- Inspección para la aceptación final

CAPÍTULO VI
**PROCEDIMIENTOS
CONSTRUCTIVOS**

CAPÍTULO VI – PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

6.1 GENERALIDADES

En el capítulo dos y tres, se hizo un resumen teórico sobre conceptos y definiciones relativas a la técnica de Recarpeteo con mezclas asfálticas en caliente, cubriendo el área de materiales componentes y el diseño de mezclas. En éste capítulo se estudian conceptos importantes, orientados al proceso constructivo; desde la producción en planta, colocación en la obra, hasta la compactación final.

Este capítulo, es una recopilación de conceptos utilizados en la práctica constructiva y también en convenios internacionales, (tal es el caso del documento de la SIECA), orientados obviamente a lograr la guía básica del control de calidad.

6.2 PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

La producción de la mezcla se realiza en las plantas instaladas para tal fin y en términos generales pueden ser clasificadas como:

- a) Planta de Dosificación y
- b) Planta Mezcladora de Tambor.

El propósito es el mismo, el de producir una mezcla en caliente que posea las proporciones deseadas de asfalto y agregado, y que cumpla con todas las

especificaciones. La diferencia entre los dos tipos de planta es que las plantas de dosificación (ver figura N° 6.1) secan y calientan el agregado y después, en un mezclador separado, lo combinan con el asfalto en dosis individuales; mientras que las plantas mezcladoras de tambor (ver figura N° 6.2) secan el agregado y lo combinan con el asfalto en un proceso continuo y en la misma sección del equipo.

Ciertas operaciones de planta son comunes en ambas, estas operaciones incluyen:

- Almacenamiento y alimentación de agregado frío.
- Control y colección de polvo.
- Almacenamiento de mezcla.
- Pesaje y manejo.

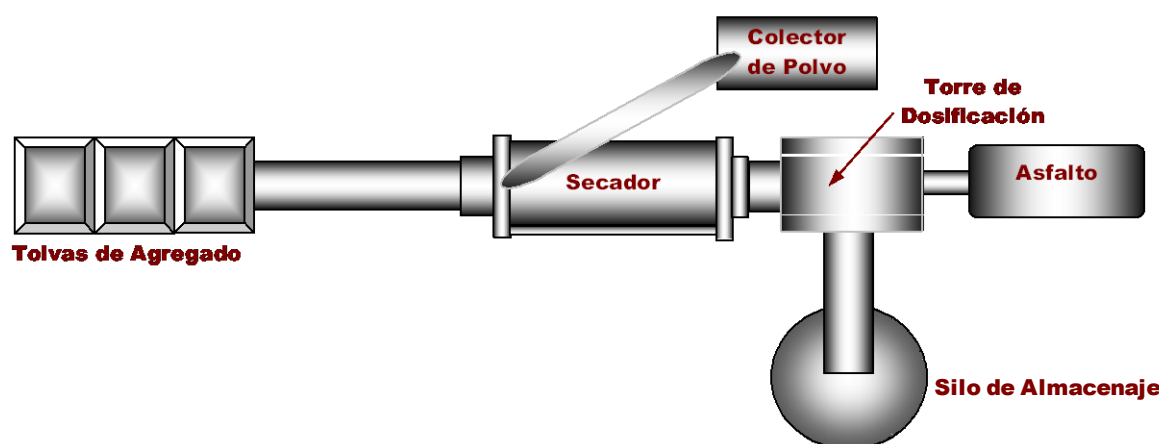


Figura N° 6.1

Planta de Dosificación de Mezclas Asfálticas

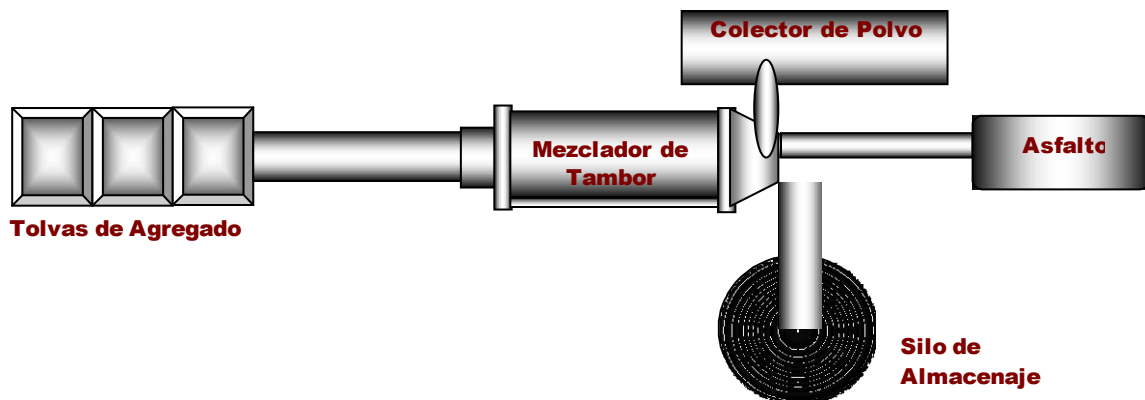


Figura N° 6.2

Planta Mezcladora de Tambor para Mezclas Asfálticas

La calidad de la mezcla en caliente producida es tan buena como la de los materiales usados en la planta. Es por ello que se tiene que garantizar la disponibilidad de una adecuada reserva de materiales apropiados antes y durante las operaciones de la planta.

a) **PLANTA DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA**

Los agregados son combinados, calentados y secados, proporcionados, y mezclados con el cemento asfáltico para producir una mezcla asfáltica en caliente. Una planta puede ser pequeña o grande, dependiendo del tipo y la cantidad de mezcla asfáltica que se esté produciendo. También puede ser estacionaria o portátil.

Ciertas operaciones básicas son comunes en todas las plantas de dosificación:

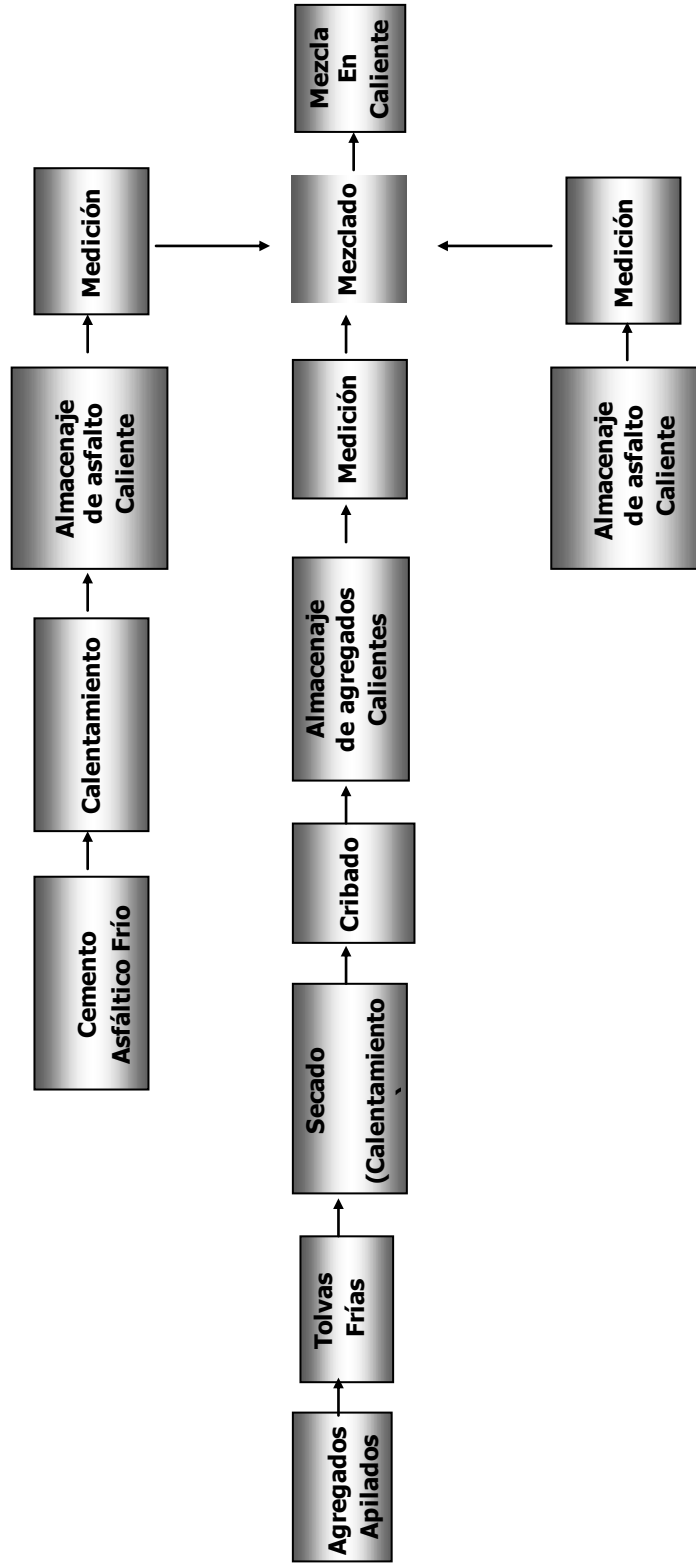
- Almacenamiento y alimentación en frío del agregado.

- Secado y calentamiento del agregado.
- Cribado y almacenamiento del agregado caliente.
- Almacenamiento y calentamiento de asfalto.
- Medición y mezclado de asfalto y agregado.
- Carga de la mezcla final en caliente.

Los agregados son removidos, en cantidades controladas, del lugar de almacenaje o de los acopios, y luego pasados por un secador en donde son secados y calentados. Después, los agregados pasan por una unidad de cribado, la cual separa el material en fracciones de diferente tamaño, y lo deposita en tolvas para su almacenaje en caliente. Luego los agregados y el relleno mineral (cuando éste es usado) son pesados, en cantidades controladas, combinados con el asfalto, y mezclados en su totalidad para formar una carga. La mezcla es luego cargada en los camiones y transportada al lugar de pavimentación. La secuencia de estas operaciones la ilustra en la figura N° 6.3.

Figura Nº 6.3

Esquema de una Planta de Dosificación de Mezcla Asfáltica



6.2.1 REQUISITOS PARA LAS PLANTAS MEZCLADORAS.

Las plantas mezcladoras deben cumplir con lo especificado en AASHTO M 156 y con lo descrito en la tabla N° 6.1:

Tabla N° 6.1	
EXIGENCIAS FÍSICAS PARA PLANTAS MEZCLADORAS²²	
Capacidad e Instalación.	Debe tener suficiente espacio para el almacenamiento y preparación del material pétreo y cemento asfáltico. Los diversos tamaños de material pétreo deben mantenerse separados, hasta que sean transportados por el elevador en frío a la secadora. El espacio de las instalaciones debe de mantenerse limpio y ordenado y el almacenamiento de los materiales con fácil acceso para tomar muestras.
Secador	Las plantas de bachada deben tener secador con inclinación variable, colocado antes de las zarandas clasificadoras y con capacidad suficiente para secar una cantidad de material pétreo igual o mayor que la capacidad de producción de mezcla de la planta. A la salida del secador debe haber un termómetro indicador que registre automáticamente la temperatura del material pétreo. Las plantas de producción continua deberán tener un sistema eficiente de control de la humedad de los agregados para asegurar que se mantengan las proporciones de mezcla constantes en unidades de peso seco a diferentes volúmenes de producción.
Zarandas	Las plantas de bachada deben de tener zarandas de capacidad y tamaño suficiente para proporcionar material pétreo, dentro de la graduación especificada.
Tolvas	Para almacenar el material pétreo éstas deben ser de tal capacidad que asegure la operación de la planta, por lo menos durante 15 minutos, sin alimentación a las mismas.
Dispositivos para Dosificar	Que permitan medir las cantidades de material pétreo, polvo mineral y cemento asfáltico por peso. Estos dispositivos deben permitir fácil ajuste en cualquier momento, para adaptar el proporcionamiento a la fórmula de trabajo, dentro de las tolerancias establecidas.
Alimentación de Combustible y Aire	Esta alimentación deberá efectuarse en forma balanceada para asegurar una combustión completa y eficiente que elimine el riesgo de contaminación de la superficie de los agregados con combustible sin quemar y que afecte su recubrimiento con material bituminoso, ó produzca excesivas emanaciones que contaminen el ambiente.

Continua

²² Fuente: Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes de La República de Guatemala. Sección 401.08, Páginas: 401-11 – 401-13

Tabla N° 6.1

EXIGENCIAS FÍSICAS PARA PLANTAS MEZCLADORAS²²

Colectores de Polvo	Las plantas deben estar equipadas con sistemas de recolección de polvo mecánicos, húmedos o mediante filtros, solos o en combinación, que impidan la contaminación ambiental. En el caso que se usen sacos colectores de polvo, se debe disponer del material recolectado o éste debe ser devuelto uniformemente al proceso de mezclado.
Silo de Almacenamiento	Las plantas de producción continua que utilicen silos de almacenamiento, deberán estar provistas de mecanismos que eviten la segregación de la mezcla y preferentemente deberán estar equipados para mantener la temperatura de la mezcla durante el período de almacenamiento.
Unidad Mezcladora	Pueden ser del tipo de producción continua o por batchadas con dispositivo para el control del tiempo de mezclado. Cuando se requiera el uso de aditivos para el material bituminoso, las plantas deberán estar equipadas con los dispositivos que permitan mantener una dosificación adecuada de los mismos.
Básculas para Pesar la Mezcla Producida	Si la medida y pago se efectúa por el sistema de peso de la mezcla, la planta debe contar con básculas para pesar los vehículos que acarrear la mezcla, con sensibilidad del 5% respecto a la capacidad de la misma; el indicador debe ser claro y visible para el control del peso y la báscula estar calibrada.
Requisitos de Seguridad	En todos los lugares de acceso para control e inspección, debe proveerse escaleras con baranda metálica. Todos los engranajes, poleas, cadenas, ruedas dentadas y demás partes móviles, deben ser eficientemente resguardados y protegidos. El espacio destinado a la carga de camiones, debe estar libre y protegido para permitir la circulación lateral. Deben instalarse extinguidores contra incendio y proveer todos los dispositivos e instrucciones para evitar accidentes a los operadores de la planta. Deberá también equiparse la planta con fosas para contener cualquier posible derrame de combustible o material bituminoso.
Calibración de la Planta	Previamente al suministro continuo de la mezcla, se debe proceder a efectuar la calibración de la planta haciendo los ajustes de todas las operaciones, para lograr una mezcla conforme a los Diseños de Mezcla aprobados.

6.2.2 PREPARACIÓN DEL MATERIAL PÉTREO PARA MEZCLA EN PLANTA.

El material inmediatamente antes de introducirlo en la planta mezcladora, debe ser secado y calentado a la temperatura indicada.

La temperatura máxima y variación de calentamiento debe de ser tal, que no produzca daño en los materiales. La temperatura del material pétreo, puede ser mayor que la temperatura de aplicación del cemento asfáltico siempre que no se produzcan daños en este material.

El material debe ser tamizado para la graduación especificada, y separado en tolvas, de acuerdo a la fórmula de trabajo, antes de introducirlo en la cámara mezcladora.

Si se utiliza un aditivo antidesvestimiento en polvo, el contenido de humedad del agregado debe ser ajustado a por lo menos 4 % en masa del agregado. El aditivo debe ser mezclado con el agregado de manera uniforme antes de introducir el agregado dentro del secador o del tambor de secado. Se deben utilizar dispositivos calibrados para medir o pesar la cantidad de los aditivos así como de la humedad adicionada al agregado.

Tanto el asfalto como el agregado deben ser calentados antes de ser combinados en el mezclador – asfalto, para darle suficiente fluidez para que sea bombeado, y el agregado, para que esté lo suficientemente seco y caliente tal que pueda producir una mezcla final a la temperatura deseada.

La temperatura del agregado controla la temperatura de la mezcla. Normalmente hay una especificación para temperatura de mezclado, basada en factores relacionados con las condiciones de colocación y compactación de la

mezcla otra temperatura importante es la que se requiere para secar muy bien el agregado, tal que se pueda obtener una mezcla favorable.

El mezclado deberá ser efectuado a la temperatura más baja posible que a la vez permita un revestimiento completo de las partículas de agregado y una mezcla con una trabajabilidad satisfactoria. La tabla N° 6.2 muestra los márgenes típicos de temperatura de mezclado:

Tabla N° 6.2 TIPO Y GRADO DE ASFALTO	TEMPERATURAS DE LA MEZCLA EN EL MEZCLA DOR²³	
	Mezclas densamente graduadas	
Cementos Asfálticos	°C	°F
AC – 2.5	115 -140	235 – 280
AC – 5	120 -145	250 – 295
AC – 10	120 -155	250 – 315
AC – 20	130 -165	265 – 330
AC – 40	130 -170	270 – 340
AR - 1000	105 -135	225 -275
AR - 2000	135 -165	275 -325
AR - 4000	135 -165	275 -325
AR - 8000	135 -165	275 -325
AR - 16000	150 -175	300 -350
200 – 300 pen*	115 -150	235 -305
120 – 150 pen	120 -155	245 -310
85 – 100 pen	120 -165	250 -325
60 – 70 pen	130 -170	265 -335
40 – 50 pen	130 -175	270 -350

*Asfalto Clasificado por Penetración (pen) Ver tablas N° 2.3, 2.4 y 2.5 de éste documento

²³ Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22. MS – 22, Capítulo 4 Operaciones de Planta Secc. 4.20 Pág 158

6.2.3 PREPARACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.

- b) *Tanques de Almacenamiento.*** Los tanques de almacenamiento deben estar de tal manera que permita mantener el contenido del tanque a una temperatura uniforme. Los tanques deben estar localizados en lugares estratégicos de fácil acceso y protegidos contra incendio.
- c) *Calentamiento del Cemento Asfáltico.*** El equipo de calentamiento, para la inyección a la mezcla debe tener la capacidad para calentar el cemento asfáltico a utilizar a la temperatura de mezcla correspondiente al grado especificado sin dañarlo, debiendo tener sistema circulante con serpentines, evitándose el contacto directo de las llamas del quemador, con la superficie de los serpentines, tubería o ductos por donde circula el material bituminoso.

No se debe calentar el cemento asfáltico a temperaturas mayores que las especificadas para el grado correspondiente, pero nunca mayores de 170 °C.

Si la fórmula de trabajo requiere del uso de un aditivo antidesvestimiento líquido estable al calor, éste debe ser agregado dentro de las líneas de transferencia del cemento asfáltico en la terminal a granel o en la planta mezcladora. El aditivo debe ser inyectado durante por lo menos el 80 % del tiempo de transferencia o de mezclado para obtener una mezcla uniforme.

6.2.4 MEZCLA.

La temperatura a la que se debe aplicar el cemento asfáltico debe ser la que corresponda a una viscosidad cinemática del mismo entre 0.15 y 0.19 Pascales segundo Pa-s (150 y 190 Centi Stokes cS), pero en ningún caso la temperatura de la mezcla a la salida de la planta deberá de exceder de 165 °C ó de la temperatura especificada en el diseño aprobado de la mezcla.

6.2.5 CANTIDAD DE CEMENTO ASFÁLTICO.

La cantidad de cemento asfáltico que debe aplicarse en la mezcla, debe ser indicada de acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio. La cantidad de cemento asfáltico de diseño es variable, según las características de los materiales. Esta cantidad deberá estar comprendida entre un mínimo de 3% y un máximo de 8% en peso total de la mezcla, a menos que lo indiquen de otra forma las Especificaciones Técnicas.

Debe comprobarse por medio del ensayo AASHTO T- 164.

6.3 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE LA MEZCLA

6.3.1 TRANSPORTE DE LA MEZCLA

La mezcla asfáltica en caliente es llevada al lugar de la obra mediante camiones, los hay de varios tipos que son usados para transportar la mezcla. Los dos tipos

más comunes son: camiones de vaciado por extremo y camiones de descarga inferior.

Todos los camiones deben cumplir con las condiciones mínimas de seguridad, deben tener camas de metal y estar limpios, lisos y sin agujeros. Cada camión debe estar numerado correctamente para una identificación fácil, y estar equipado con una lona impermeable para cubrir la carga en tiempos de frío, o cuando el trayecto sea bastante largo, para evitar que la mezcla se enfríe demasiado.

Antes de cargar el camión, deberá limpiarse cualquier material extraño, así como el asfalto endurecido en la cama. Después, la cama deberá revestirse ligeramente con un lubricante para ayudar a prevenir que la mezcla fresca se pegue en las superficies, se deberá drenar cualquier exceso de lubricante. Antes de cargar el camión, este debe ser pesado para establecer su peso de taraje (sin carga). Este peso de taraje es luego restado del peso total (camión cargado) para determinar el peso de carga o de mezcla.

El número de camiones requeridos en una obra depende de muchos factores: la producción de mezcla en la planta, la longitud del recorrido, el tipo de tránsito encontrado en el recorrido, y el tiempo necesario para descargar la mezcla.

6.3.1.1 Controles de Campo, Inspección Visual de la Mezcla

Las indicaciones de deficiencias en la mezcla en caliente, que pueden requerir una inspección más rigurosa y posiblemente una rectificaciones pueden observar en la tabla N° 6.3. Y el control general se puede llevar a cabo con el formato que da la tabla N° 6.4.

Tabla 6.3	
CONTROLES E INSPECCIONES DE CAMPO²⁴	
OBSERVACIÓN FÍSICA	CAUSA Y RECTIFICACIÓN
HUMO AZUL	El humo azul que asciende de la mezcla del camión, puede ser indicación de una mezcla sobrecalentada. En este caso, la temperatura deberá revisarse inmediatamente.
APARIENCIA DURA	Generalmente, una carga que parezca dura o presente un pico más alto (más de lo normal), puede estar demasiado fría para cumplir con las especificaciones. Su temperatura deberá revisarse, si ésta es menor que la temperatura óptima de colocación, pero se encuentra dentro del margen aceptable, entonces se debe tomar medidas inmediatas para corregir la deficiencia en temperatura, y así evitar tener que rechazar la mezcla.
ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA EN EL CAMIÓN	Normalmente el material en el camión se encuentra en forma de domo (cúpula). Si una carga se encuentra plana, o casi plana, puede ser que contenga demasiado asfalto o demasiada humedad. El exceso de asfalto también puede detectarse debajo del enrasador si la superficie de la carpeta aparece excesivamente brillante. Por otro lado, una mezcla que contenga gran cantidad de agregado grueso puede ser confundida con una que contenga demasiado asfalto, debido a su apariencia lustrosa.
APARIENCIA OPACA Y MAGRA	Una mezcla que contiene muy poco asfalto puede ser detectada inmediatamente en el camión o en la tolva distribuidora por su apariencia magra (seca) y granular, por un revestimiento incorrecto del agregado, y por una falta del lustre típico brillante y negro. También el exceso de finos puede ser detectado al inspeccionar la textura de la mezcla y observar si la mezcla se desliza bajo el compactador.
VAPOR ASCENDENTE	El exceso de humedad aparece frecuentemente, como vapor ascendente en la mezcla, cuando ésta se descarga en la tolva del asfaltador. La mezcla en caliente puede estar burbujeando y reventando, como si estuviera hirviendo. Una humedad excesiva también puede causar que la mezcla aparezca y actúe como si tuviera demasiado asfalto.
SEGREGACIÓN	La segregación de agregados puede ocurrir durante la pavimentación debido a un manejo inadecuado de la mezcla. En otros casos, la segregación puede ocurrir antes de que la mezcla llegue a la pavimentadora. En cualquier caso, esta se debe corregir inmediatamente, en el origen de la causa.

²⁴ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22. MS – 22, Capítulo 5 Sécc. 5.5 Pág. 202-204

CONTAMINACIÓN	Las mezclas se pueden contaminar con sustancias extrañas, incluyendo gasolina, kerosén, aceite, trapos, papel, basura y mugre. La contaminación se puede corregir si no es muy extensa; sin embargo, una carga que ha sido contaminada en su totalidad debe ser rechazada.
EXUDACIÓN	Aunque es recomendable usar sustancias que no tengan una base de petróleo para rociar las cajas de los camiones. Todavía hay agencias que permiten el uso de combustible diesel para este propósito. El exceso de diesel que se acumula en la caja del camión puede ser absorbido por la mezcla. En el pavimento, el diesel diluye el asfalto y causa que este se filtre (exude) hacia la superficie, resultando en lo que se conoce como una mancha grasienta. Además, en la mezcla, el exceso de diesel puede disolver y drenar el asfalto. Una mezcla en caliente contaminada con diesel deberá ser removida y reemplazada.

Tabla N° 6.4 **REPORTE PRELIMINAR DE INSPECCIÓN – PLANTA DE MEZCLA EN CALIENTE²⁵**

Proyecto _____ Municipio _____ Estado _____ Fecha _____

Información de la Planta Mezcladora

Tipo de Planta: Dosificación de _____ Tambor _____ Permanente _____ Portátil _____

Marca _____ Modelo o No. de Serie _____

Condición General _____

Acopios

N°	Tamaño del Agregado	Tipo de alimentador	Comentarios

Fuentes del agregado _____

Particiones o Muros de los Acopios: Adecuados _____ Inadecuados _____

Método para manejar los acopios hasta :

Alimentadores: Almeja _____ Cargador _____ Otro _____

Si otro, explique: _____

Comentarios (Acopios) _____

Secador: Marca _____ N° de modelo _____ Tamaño: _____

Combustible _____ Tipo de quemador _____ Capacidad nominal _____

Comentarios _____

Dispositivo indicador del calor: _____

Marca: _____ Limite: _____ Graduado hasta _____ grados

Es ajustable? _____ Tiempo requerido par un cambio de 10°C _____

Localización del tubo _____

Comentarios _____

Colector de Polvo: _____

Marca: _____ Tipo: _____

Control de Retorno: _____

Comentarios _____

Tolvas de asentamiento y Cribas:

Tolva N°	Abertura de Criba	Área de Criba	Tamaño Prom. del Agregado	Condición de los tubos de Rebose	Comentarios

Sobrante: Tolva N° 2 _____ N° 3 _____ N° 4 _____

Comentarios: _____

	Marca	Tipo	Capacidad	Graduaciones	Fecha de Sello
Balanzas					
Agregado					
Asfalto					
Plataforma					

Continúa

²⁵ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22. MS – 22, Capítulo 4 Sécc. 4.8E Pág.130-131

Continuación tabla N° 6.4

Tolva de prueba _____
Comentarios _____

1 Amasadero: Marca _____ **Capacidad** _____ **R. P. M** _____

Condición del Amasadero y las Paletas _____

1 Dispositivo de regulación del embasadero: _____

Marca: _____ **Precisión:** _____
Tipo de Señal: _____ **Enclavamiento? Si** _____ **No** _____
Comentarios: _____

Termómetro de la línea de Asfalto: _____
Marca: _____ **Limites:** _____ **Graduaciones:** _____
Localización: _____
Tanques de asfalto: N° y Capacidades : _____
Extremo de la tubería circulante debajo de la superficie del asfalto? Si _____ **No** _____
Método de calentamiento: _____
Tanques Calibrados? Si _____ **No** _____ **Interrupción automática de la planta** _____

Comentarios _____

1 Sistema de señal de la tolva de almacenamiento: _____
Tipo: _____ **Interrupción automática? Si** _____ **No** _____
Comentarios _____

2 Medidor de fluido para Asfalto: _____
Marca: _____
2 Líneas de asfalto y bomba de vapor? Si _____ **No** _____
Comentarios _____

2 Alimentadores automáticos de agregados: _____
Mecánico _____ **Eléctrico** _____ **Enclavamiento con la bomba de asfalto? Si** _____ **No** _____
Contador de revoluciones _____ **Lectura** _____ **Revolución** _____
Comentarios _____

Facilidades de Muestreo:
De las tolvas de almacenamiento _____
Tipo de dispositivo de Muestreo _____
De los tanques de asfalto _____
2 De los alimentadores automáticos _____

Información adicional y comentarios _____

Inspeccionado por _____ **Aprobado por** _____
Técnico de Planta **Ingeniero Residente**

1 Se aplica solo a las plantas de Dosificación
2 Se aplica solo a las plantas mezcladoras de tambor

A continuación se muestra la tabla N° 6.5 con un listado de interrogantes a verificar:

Tabla N° 6.5 LISTADO DE INTERROGANTES SEGÚN NORMAS²⁶			
PARÁMETRO	OBSERVACIÓN	SI	NO
Almacenamiento y manejo de material			
Agregados	• ¿Cumplen con las especificaciones?		
	• ¿Tienen los tamaños correctos?		
	• ¿Se almacenan adecuadamente?		
Acopios	• ¿Están contruidos correctamente?		
	• ¿Tienen una separación correcta?		
	• ¿Tienen un manejo adecuado?		
Segregación	• ¿Se observa?		
	• ¿Se corrige?		
Relleno Mineral	• ¿Se encuentra en condición seca?		
Calentamiento de Asfalto, circulación y temperatura de la mezcla			
Asfalto	• ¿Se calienta a la temperatura adecuada?		
Líneas de circulación	• ¿Existen escapes?		
Mezcla	• ¿Se mantiene a la temperatura especificada?		
Planta mezcladora de Tambor			
Alimentador de Agregados	• ¿Se encuentra calibrado?		
Alimentador de Asfalto	• ¿Se encuentra calibrado?		
Alimentador de Agregados y Asfalto	• ¿Están unidos?		
Planta	• ¿Todas sus secciones están en buen estado?		
Asfalto	• ¿Se introduce al tambor a la temperatura adecuada?		

²⁶ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22. MS – 22, Capítulo 4 Sécc 4.3 E. 5.5 Pág. 132-133

Continuación Tabla N° 6.5			
VERIFICACION PRELIMINAR PARA INSPECCIÓN EN PLANTA			
Planta Dosificadora			
Básculas	• ¿Cumplen con las especificaciones?		
	• ¿Están calibradas?		
	• ¿Se ha comprobado sus tolerancias?		
Cubeta de asfalto	• ¿Tara correctamente?		
Caja pesadora	• ¿Cuelga libremente?		
Partes del mezclador	• ¿Están ajustadas?		
	• ¿Están en buenas condiciones?		
Carga	• ¿Se mezcla el tamaño correcto?		
Varios	• ¿Los agregados y el asfalto están a la temperatura correcta cuando se introducen en los recipientes de pesaje?		
	▪ ¿Hay válvulas o compuertas que presentan escapes?		
	▪ ¿El tiempo de mezclado es adecuado?		
	▪ ¿Los puntos de las básculas están correctamente ajustados para los pesos de cargas?		
	▪ ¿Los ejes del mezclador están girando a la velocidad correcta?		
	▪ ¿La capacidad de las Cribas es suficiente para manejar la máxima alimentación proveniente del secador?		
	▪ ¿Las cribas están limpias?		
	▪ ¿Las cribas están gastadas o rotas?		
	▪ ¿La sobrecarga es irregular o excesiva?		
	• ¿Las particiones de las tolvas calientes están lo suficiente fuertes?		
	• ¿Los escapes de sobrecarga tienen un flujo libre?		
	• ¿El equilibrio de las tolvas se mantiene?		
	• ¿El acceso al muestreo es adecuado?		

Continuación Tabla N° 6.5

LISTADO DE INTERROGANTES SEGÚN NORMAS

Secador y colector de polvo			
Secador	• ¿Cumple con las especificaciones?		
	• ¿El agregado es secado correctamente?		
	• ¿El agregado esta en la temperatura correcta?		
	• ¿El secador esta equilibrado?		
	▪ ¿El secador esta equilibrado con los otros componentes de la planta?		
	• ¿El dispositivo indicador de calor esta correctamente instalado?		
	• ¿El dispositivo indicador de calor ha sido revisado para determinar su precisión?		
Colector de polvo	• ¿Esta equilibrado con el secador?		
	• Los finos recogidos por el colector son desechados.		
	• ¿Los finos recogidos por el colector son uniformemente alimentados de nuevo en las cantidades correctas?		
Muestreos y ensayos			
Muestras	▪ ¿Son suficientes?		
	▪ ¿Son representativas?		
Ensayos	▪ ¿Se ejecutan correctamente?		
	▪ ¿Los resultados están disponibles a tiempo para ser utilizados?		
Registros			
Registros	▪ ¿Están completos		
	▪ ¿Están actualizados		

Continuación Tabla N° 6.5			
LISTADO DE INTERROGANTES SEGÚN NORMAS			
Responsabilidades Misceláneas			
Camiones	▪ ¿Las cajas de los camiones han sido inspeccionados?		
	▪ ¿Las cajas de los camiones han sido drenadas después de haber sido rociadas?		
	▪ ¿Los camiones cumplen con los requisitos de las especificaciones?		
	▪ ¿Los camiones están equipados con lonas impermeables?		
Mezcla	▪ ¿La mezcla tiene una apariencia uniforme?		
	▪ ¿La apariencia general de la mezcla es satisfactoria?		
	▪ ¿La temperatura de la mezcla es uniforme y satisfactoria?		
	▪ ¿La mezcla cumple con los requisitos de colocación?		
Varios	▪ ¿Los asistentes han sido correctamente instruidos?		
	▪ ¿Se están observando todas las medidas de seguridad?		

6.3.2 COLOCACIÓN DE LA MEZCLA

6.3.2.1 Procedimientos de Colocación

- **Riego de Liga**

Antes de comenzar los trabajos de descargue de camiones con la mezcla aprobada, debe colocarse el Riego de Liga (Tack Coat) que es una muy ligera aplicación de riego de adherencia cuyo fin es cerrar pequeñas grietas de la antigua superficie y enlace con la nueva (ver Fotografía N° 6.1).

Antes de aplicarse el riego de liga debe removerse de la superficie todo material suelto y extraño, por medio de un barrido o lavado si fuese necesario. Los asfaltos recomendados para usar se aprecian en la tabla N° 6.6:

Tabla N° 6.6 TIPOS DE ASFALTO QUE SE UTILIZAN PARA EL RIEGO DE LIGA ²⁷	
Asfaltos líquidos	RC – 1
	RC - 2
Cementos asfálticos	60 – 70
	85 – 100
	120 - 150
Emulsiones	SS – 1
	SS – 1h

- Se aconseja utilizar entre 0.2 – 1.0 litros (0.05 y 0.25 galones) por metro cuadrado.
- Ver Manual de SIECA en Capítulo de Especificaciones para la Construcción, Secciones 412 y 702.02 y 702.03

²⁷ Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, Alcantarillas y Puentes. SIECA Pág. 185

Si en la capa de ligante se utilizan asfaltos líquidos o emulsiones, debe dársele suficiente tiempo para que curen, ya sea evaporando la mayor parte de los volátiles o del agua.



Fotografía N° 6.1

Riego de Liga sobre el Pavimento Existente

En primer lugar se debe coordinar las operaciones entre la planta productora de asfalto y el ritmo de los procesos de compactación.

El pavimentar demasiado rápido puede ocasionar que la pavimentadora tenga que parar frecuentemente, para esperar que los camiones traigan más mezcla.

Si la parada es demasiado larga, la uniformidad del pavimento va a ser afectada desfavorablemente cuando la pavimentadora empiece a operar de nuevo utilizando la mezcla que se ha enfriado.

Por consiguiente, es esencial que la producción de la planta este coordinada con las operaciones de pavimentación. El asfaltador debe cargarse continuamente con suficiente mezcla y, al mismo tiempo, los camiones no deben esperar mucho tiempo para descargar sus camionadas en la tolva del asfaltador (Ver Fotografía N° 6.2).



Fotografía N° 6.2

Coordinación entre la producción en planta y la colocación

- **Ajuste del Enrasador Durante la Pavimentación**

Si la carpeta que esta siendo colocada es uniforme y tiene una textura aceptable, y su espesor es correcto, entonces no es necesario hacer ajustes en el enrasador. Cuando estos ajustes son requeridos, deberán efectuarse en

incrementos pequeños, deberá permitirse cierto tiempo entre cada ajuste para que el enrasador reaccione completa y secuencialmente a cada uno de los ajustes.

Es usualmente importante que los controles de espesor del enrasador no sean ajustados excesivamente en cantidad o en frecuencia. Cada ajuste de los controles de espesor resulta en un cambio de elevación de la superficie de la carpeta. Los cambios excesivos de elevación superficial en el borde de la primera carpeta son extremadamente difíciles de igualar en el carril paralelo, cuando se esta construyendo la junta longitudinal (Ver Fotografía N° 6.3).



Fotografía N° 6.3

Tendido y colocación de la mezcla

- **Ancho de la Distribución**

Las capas sucesivas de mezcla no deberán ser construidas directamente una sobre otra, sino que deben desplazarse no menos de 150 mm (6 in.) en lados

alternos de la línea central de la carretera. Este método previene que se forme una costura vertical continua a través del pavimento terminado a lo largo de la junta longitudinal. En las carreteras angostas de 6 metros (20 pies) de ancho o menos, la capa que requiere de una zapata de corte deberá colocarse primero y la del otro lado deberá colocarse con la extensión total del enrasador. En la capa final (de arriba) se debe usar una zapata de corte en ambas pasadas para que la junta quede localizada en la línea de centro de la vía.

El alineamiento de la carpeta depende de la precisión de la guía usada por el operador y de la atención del operador. Esta atención es vital en la construcción de una junta longitudinal aceptable.

En una carretera ancha de carriles múltiples es mejor colocar primero el carril cercano al coronamiento y después aparear al lado, el carril contiguo.

- **Mano de Obra**

Hay áreas en muchas obras donde la pavimentación con enrasador no es práctica o es imposible. En estos casos, puede ser permitido distribuir la mezcla a mano, en este tipo de colocación se debe tener mucho cuidado para que no vaya a haber segregación, cuando se descarga la mezcla en pilas, ésta debe ser colocada lo suficientemente adelante de los paleadores para que ellos no necesiten mover la pila completa. Además, deberá proporcionarse suficiente espacio para que los obreros se paren en la base y no en el material mezclado.

Si la mezcla asfáltica es arrojada con palas es casi seguro que habrá segregación de las porciones gruesas y finas de la mezcla. Una mezcla colocada a mano tendrá una apariencia superficial diferente a la que puede tener la misma mezcla colocada con máquina.

El material de las palas deberá depositarse en pequeños montones y deberá distribuirse con rastrillos. En el proceso de distribución, el material deberá desatarse completamente y distribuirse uniformemente. Cualquier material que se haya acumulado en terrones, y no puede desbaratarse fácilmente deberá desecharse. La superficie deberá revisarse con reglas rectas y plantillas después de que el material ha sido colocado y antes de ser compactado. Cualquier irregularidad debe ser corregida en todo el procedimiento de compactación y conocer el equipo utilizado. El inspector debe tomar muestras de la carpeta compactada, ó lecturas con instrumentos especiales, para determinar la densidad, la tolerancia y la lisura de la mezcla.

A continuación se muestra una tabla resumen con problemas típicos que puede presentar la carpeta en su colocación y sus posibles causas (Ver tabla N° 6.7)

Tabla 6.7

PROBLEMAS TÍPICOS DE LA CARPETA ASFÁLTICA Y SUS POSIBLES CAUSAS²⁸

Capa ligante insuficiente o no – uniforme	Capa ligante, o de imprimación, inadecuadamente curada	Mezcla muy gruesa	Exceso de finos en la mezcla	Insuficiente asfalto	Exceso de asfalto	Mezcla inadecuadamente proporcionada	Cargas no satisfactorias	Exceso de humedad en la mezcla	Mezcla demasiado caliente o quemada	Mezcla demasiado fría	Mala operación de rociado	Rociador en mala condición	Demasiada humedad en la subrasante	Demasiada capa ligante o de imprimación	Demasiado rastrillado manual	Mano de obra descuidada o sin experiencia	Demasiada segregación en la colocación	Operación muy rápida de la máquina terminadora	Tipos de imperfecciones en el pavimento que pueden ocurrir al colocar mezclas de planta
					X	X	X							X					
				X				X	X										Apariencia parda y muerta
					X	X	X							X			X		Puntos ricos o grasos
		X	X			X	X			X	X	X			X	X	X	X	Mala textura superficial
X	X	X				X	X			X	X	X			X	X	X	X	Superficie áspera desigual
		X		X		X	X			X	X	X			X	X	X		Desmoronamiento o carcomido
		X								X	X	X			X	X	X		Juntas desiguales
			X		X	X				X						X			Marcas de la cilindradora
X	X		X		X	X	X	X			X	X			X				Ondulaciones o desplazamientos
			X	X		X							X						Agrietamiento (muchas grietas finas)
													X						Agrietamiento (grietas largas y grandes)
		X				X				X	X	X							Rocas fracturadas por la cilindradora
		X		X		X			X	X	X	X					X	X	Abatimiento de la superficie durante la colocación
X	X		X		X	X		X		X			X	X					Deslizamiento de la superficie sobre la base

²⁸ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22. MS – 22, Capítulo 5 Sécc. 5.6.D Pág. 207

6.4 COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA

6.4.1 MECÁNICA DE LA COMPACTACIÓN

La mecánica de la compactación involucra tres tipos de fuerzas actuantes durante el proceso compactación. Estas son: las fuerzas de compresión de los rodillos, las fuerzas en la mezcla que resisten las fuerzas de los rodillos, y las fuerzas de soporte proporcionadas por la superficie que se encuentra debajo de la carpeta.

La compactación y la densidad pueden obtenerse solamente si se logra que la mezcla pueda ser confinada adecuadamente.

• Patrón de compactación en el Tramo de Prueba

Antes de usar un patrón de prueba se debe tomar una decisión respecto a la manera como se van a operar los siguientes aspectos de la compactadora:

- 1.** Velocidad
- 2.** Patrón de recorrido para el ancho (de la pavimentación)
- 3.** Número de pasadas
- 4.** Selección de la zona de operación de la compactadora detrás del asfaltado.

Para el tramo de prueba se puede utilizar longitudes de hasta 300 m con un equipo mínimo de:

- Pavimentadora
- Rodo Vibratorio Compactador Neumático

- Barredora mecánica
- Camión distribuidor de asfalto
- 4 - 6 camiones de volteo

Se recomienda realizar las siguientes actividades:

- Barrer el Tramo
- Hacer una inspección visual del tramo y notificar cualquier anomalía.
- Efectuar el riego de liga a una tasa de 0.2 l/m^2 - 1 l/m^2 .
- Evitar la contaminación con material de secado.
- Registrar las temperaturas de mezclado en la planta, llegada al sitio y también al inicio de la compactación.

Se han efectuado varios estudios sobre las tasas de enfriamiento de mezclas, bajo condiciones variables de temperatura, espesor de capa, y temperatura de la capa de soporte. La temperatura provee una indicación bastante precisa del intervalo de tiempo necesario para obtener la densidad de referencia (Ver figura N° 6.4²⁹)

- Hacer dos o tres pruebas de ciclos de compactación a puntos fijos con vibraciones de alta y baja frecuencia y observar el comportamiento de la densidad. Los resultados de estas pruebas se pueden tabular y graficar, como se muestran en las tablas N° 6.8 y 6.9 y en las gráficas N° 6.1 y 6.2.

²⁹ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22.
MS – 22, Capítulo 6 Sécc. 6.5 B Pág. 234

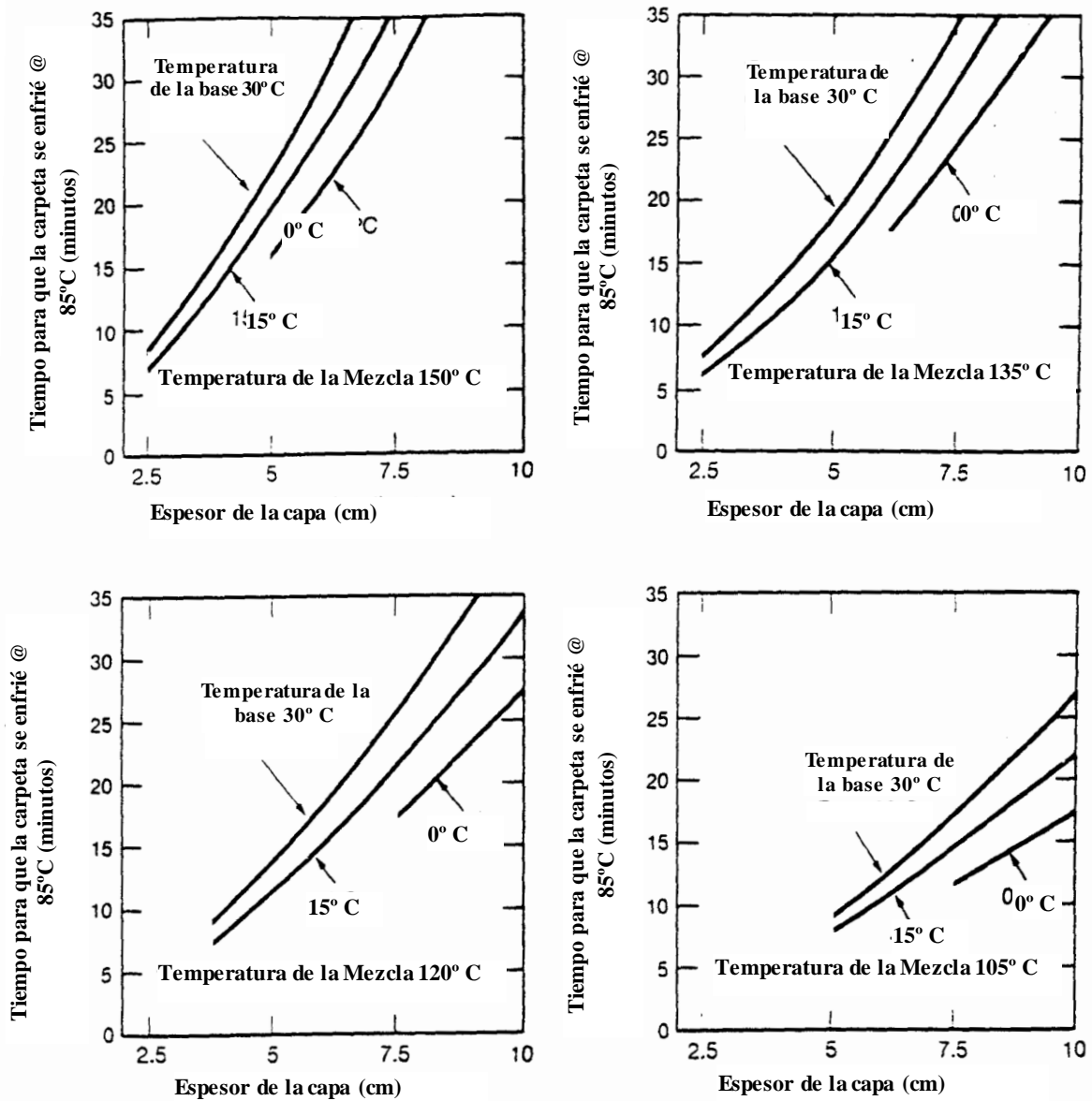


Figura Nº 6.4

Tiempos para que el asfalto se enfríe a 85 °C

* Tiempo Permitido para la Compactación, Basado en la Temperatura y Espesor de la Mezcla, y la Temperatura de la Capa de Soporte.

- Determinar el ciclo óptimo para obtener el porcentaje de Compactación según especificación de densidad máxima teórica (generalmente se busca el 95%).

- Por lo general, no se recomienda que quede sobre-compactado porque la mezcla pierde flexibilidad.
- Tomar muestra para hacer los ensayos Marshall, el contenido de asfalto y la granulometría.
- Extraer núcleos del pavimento para medir espesores y densidades (Ver fotografía N° 6.4).
- Tomar una medida del índice de rugosidad internacional (IRI) al final de realizar el Tramo de Prueba.



Fotografía N° 6.4

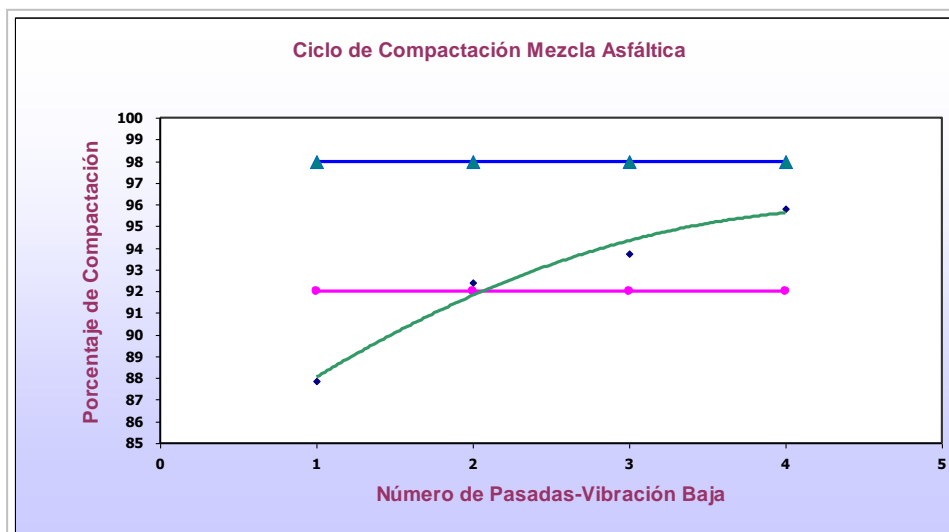
Extracción de Núcleos para realizar ensayos Marshall

Tabla N° 6.8

EJEMPLO DE CONTROL DE DENSIDADES DE CAMPO Vibración baja. Mezclas Asfálticas

Técnico que realizó la medición:
 Actividad: Colocación de Mezcla Asfáltica
 Densidad Máxima Teórica: 2.410
 Supervisor:
 Estación: 21+120 - 21+030
 Material: Mezcla Asfáltica
 Equipo: Densímetro Nuclear

No.	Fecha	Estación	Lateral	Densidad Máxima Teórica (g/cc) (1)	Densidad Medida (g/cc) (2)	T compactación (°C)	% Compactación	Observaciones
1		21+080	Izq.	2.410	2.117	135	87.8%	1 planchada
2		21+080	Izq.	2.410	2.227	135	92.4%	1º pasada vibración baja
3		21+080	Izq.	2.410	2.259	135	93.7%	2º pasada vibración baja



Gráfica N° 6.1

Porcentaje de Compactación VRS Número de Pasadas

Tabla N° 6.9

EJEMPLO DE CONTROL DE DENSIDADES DE CAMPO
Vibración alta - Mezclas Asfálticas

Técnico que realizó la medición:
 Actividad: Colocación de Mezcla Asfáltica
 Densidad Máxima Teórica: 2.410
 Supervisor:
 Estación: 21+120 - 21+030
 Material: Mezcla Asfáltica
 Equipo: Densímetro Nuclear

No	Fecha	Estación	Lateral	Densidad Máxima Teórica (g/cc) (1)	Densidad Medida (g/cc) (2)	T compactación (°C)	% Compactación (2/1 %)	Observaciones
1		21+156	Izq.	2.410	2.082	135	86.4%	1 planchada
2		21+156	Izq.	2.410	2.206	135	91.5%	1º pasada vibración baja
3		21+156	Izq.	2.410	2.256	135	93.6%	2º pasada vibración alta
4		21+156	Izq.	2.410	2.288	135	94.9%	3º pasada vibración alta
5		21+156	Izq.	2.410	2.359	135	97.9%	4º pasada vibración alta
6		21+156	Izq.	2.410	2.324	135	96.4%	5º pasada vibración alta
7		21+156	Izq.	2.410	2.398	135	99.5%	6º pasada con neumática

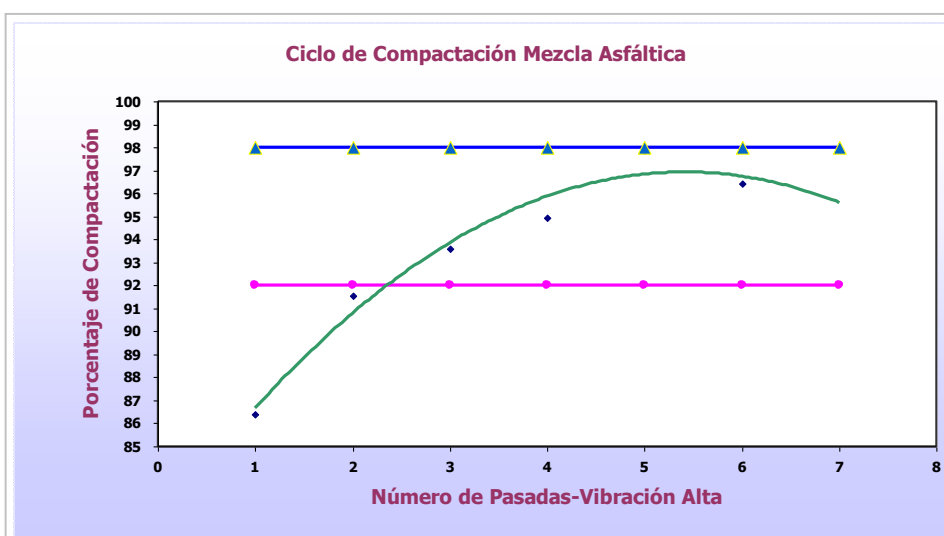


Gráfico N° 6.2

Porcentaje de Compactación VRS Número de Pasadas

No se recomienda colocar espesores menores que los que figuran en las curvas cuando la temperatura base es menor de 0 °C.

Si el tramo de prueba no cumple con las especificaciones, se debe efectuar una nueva serie de tramos de prueba. Para esto se recomienda el siguiente procedimiento:

- 1.** Disminuir la velocidad de la compactadora.
- 2.** Tomar una medida nuclear de 15 segundos con el densímetro nuclear después de cada pasada, o recorrido de ida y vuelta hasta que el calibrador indique una densidad adecuada (dentro de especificaciones).
- 3.** Tratar una velocidad mayor usando el mismo número de pasadas. Utilizar el densímetro nuclear para ver si todavía se consigue una densidad adecuada, y si es así, se continúa aumentando la velocidad, con el mismo número de pasadas, hasta que la densidad sea inadecuada (no cumpla con las especificaciones). Después disminuir la velocidad hasta el punto donde se obtenga la máxima velocidad que cumple con las especificaciones de densidad en el menor número de pasadas.
- 4.** La velocidad correcta de compactación es siempre, un balance entre la compactación rápida para conseguir productividad, y la compactación necesaria para cumplir con las especificaciones de densidad y terminado. Por lo tanto, si la velocidad escogida conduce a una densidad adecuada,

pero deja defectos en la superficie, entonces se debe reducir la velocidad hasta que desaparezcan los defectos.

- a.** El patrón de compactación para la franja de prueba deberá ser el mismo patrón que será usado en la obra.
 - Nunca usar un patrón más lento que aquel seleccionado para la obra.
 - Nunca usar más pasadas que aquellas seleccionadas para la obra. De otra manera, encontrara que el compactador tendrá problemas en mantener el ritmo del asfaltador.

- b.** Es muy importante reconocer el hecho de que todas las técnicas de operación están regidas por el comportamiento de la mezcla durante el proceso de compactación. Este comportamiento varía de obra en obra y de capa en capa. Por lo tanto, las normas no son absolutas, y tan solo deben ser consideradas como una ayuda.

6.4.2 SECUENCIA DE LAS OPERACIONES DE COMPACTACIÓN

Como se mencionó anteriormente, existen tres tipos de operaciones de compactación las que se esquematiza en la figura N° 6.5

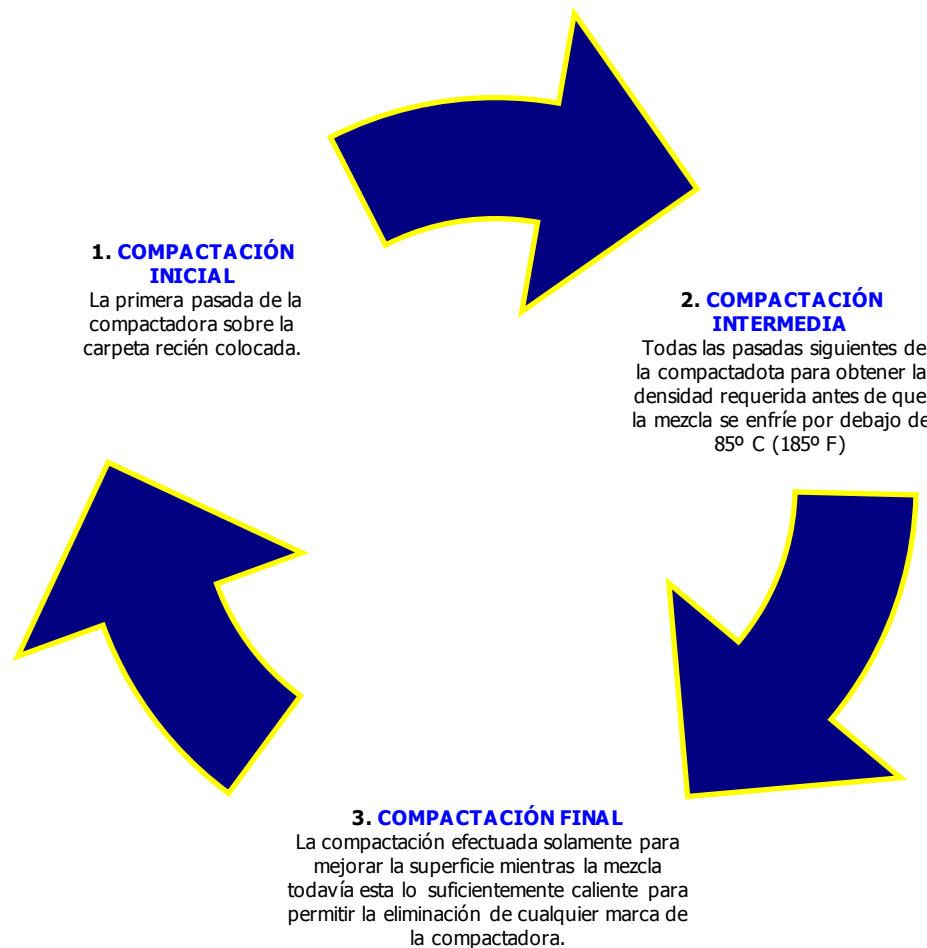


Figura N° 6.5

Secuencia de Compactación

Las dos primeras operaciones (inicial e intermedia) deben seguir una secuencia específica para garantizar que la carpeta obtenga la densidad, forma, y lisura deseadas. La secuencia dicta que partes de la carpeta deben

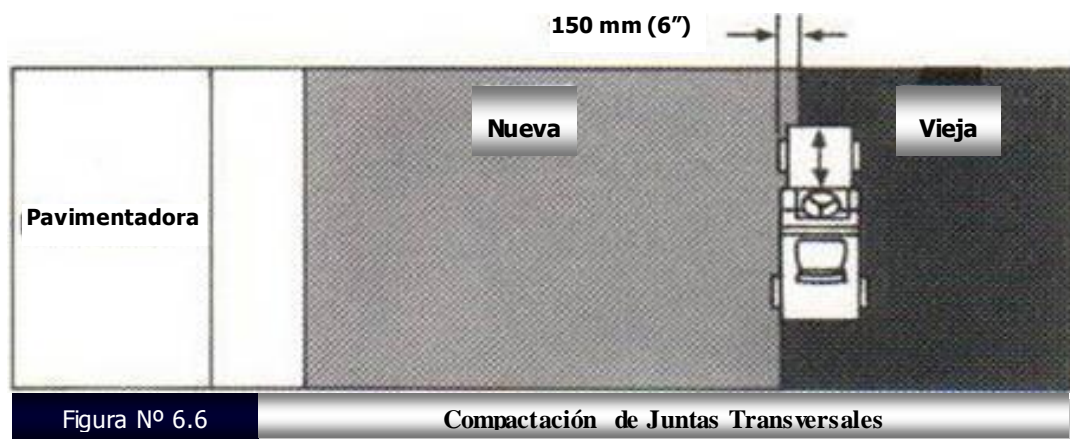
ser compactadas primero y cuales al final. Además, la secuencia es diferente para capas delgadas que para capas gruesas (Ver tabla 6.10).

Tabla N° 6.10	
PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN PARA DIFERENTES ESPESORES	
ESPEJOR DE CAPA	INDICACIONES
DELGADAS	<p>Adoptar la siguiente secuencia cuando este compactando una capa delgada (espesor compactado menor que 100 mm (4 pulgadas) en anchos de un solo carril o en anchos completos:</p> <p>Juntas transversales.</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Borde exterior. b. Compactación inicial o primera pasada, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto. c. Compactación intermedia, usando el mismo procedimiento del numeral c). d. Compactación final. <p>Cuando este pavimentando en escalón, o empalmado un carril previamente colocado o cualquier otra barrera, compacte la mezcla en la siguiente secuencia:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Juntas transversales. b. Juntas longitudinales. c. Borde exterior. d. Compactación inicial o primera pasada, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto. e. Compactación intermedia, usando el mismo procedimiento del numeral d). f. Compactación final.
GRUESAS	<p>Adoptar la siguiente secuencia cuando este compactando una capa gruesa (espesor compactado mayor que 100 mm (4 pulgadas) en anchos de un solo carril o en anchos completos:</p> <p>Juntas transversales.</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Compactación inicial o primera pasada, comenzando a una distancia de 300 a 380 mm (12 a 15 pulgadas) del borde bajo sin soportar, y progresando hacia el otro borde. b. Borde exterior. La compactadora deberá avanzar hacia el borde exterior no confinado en incrementos de 100 mm (aproximadamente) en pasadas consecutivas, cuando se encuentre a 300 mm, o menos, del borde. c. Compactación Intermedia, comenzando en el lado bajo y avanzando hacia el lado alto. d. Compactación final.

6.4.3 PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS DE COMPACTACIÓN

- **Compactación de Juntas Transversales**

Cuando la junta transversal es construida al lado de un carril contiguo a la primera pasada se hace con una compactadora estática de ruedas de acero a lo largo de la junta longitudinal, sobre unos cuantos metros. Luego la superficie es nivelada con regla recta y sí es necesario, se efectúan las correcciones del caso. A continuación, la junta es compactada en el sentido transversal con todo el ancho de la rueda sobre el material previamente colocado y compactado (Figura N° 6.6), excepto unos 150 mm. Esta operación se repite con pasadas consecutivas, cada una cubriendo unos 150 a 200 mm adicionales de carpeta nueva, hasta que todo el ancho de la rueda impulsora se encuentre sobre la mezcla nueva.



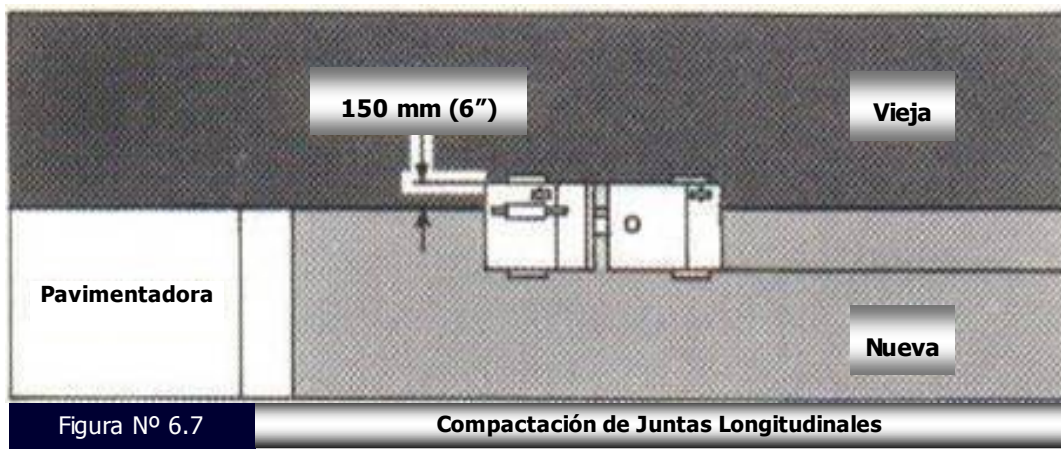
Durante la compactación transversal se deberán colocar tabloncillos de espesor adecuado en el borde del pavimento, para proporcionar a la compactadora una superficie sobre la cual pueda rodar una vez que sobrepase el borde de la

carpeta (Figura 6.6). Si no se usan tablonces la compactación transversal deberá detenerse unos 150 a 200 mm antes del borde exterior para evitar dañarlo. En este caso el borde deberá ser compactado luego durante la compactación longitudinal.

- **Compactación de Juntas Longitudinales**

Cuando se usan compactadoras estáticas de ruedas de acero, o compactadoras neumáticas, para compactar juntas longitudinales, se permite que solamente 100 a 150 mm del ancho de la rueda recorran la carpeta nueva en la primera pasada. La mayor parte del ancho deberá rodar sobre el lado de junta previamente compactado. En cada pasada subsiguiente se aumenta el ancho de rueda permitido sobre la carpeta recién colocada, hasta que todo el ancho se encuentre sobre la mezcla nueva (Figura 6.7).

En el caso de compactadoras vibratorias se usa un procedimiento diferente. Los tambores compactadores solamente se extienden de 100 a 150 mm sobre el carril previamente compactado. El resto del ancho se encuentra sobre la mezcla recién colocada. El compactador continúa moviéndose a lo largo de esta línea hasta que se obtenga una junta completamente compactada.



Las juntas longitudinales y transversales, para propósitos de compactación pueden ser: **FRÍAS o CALIENTES**

Cada una de ellas requiere de un procedimiento de compactación diferente.

- **Juntas Calientes**

Una junta caliente es aquella colocada entre dos carriles, aproximadamente al mismo tiempo; por ejemplo, por asfaltadores trabajando en escalón. Este método produce la mejor junta longitudinal porque ambos carriles están casi a la misma temperatura cuando son compactados. El material se vuelve una sola masa bajo la compactadora y hay muy poca diferencia en densidad entre los dos carriles. Cuando se pavimenta en escalón, la primera pasada de la compactadora que va detrás de la pavimentadora delantera deja 75 a 150 mm de borde común, o junta, sin compactar. Esta junta común es luego

compactada por la compactadora que sigue a la segunda la pavimentadora, en su primera pasada. Para lograr este objetivo en una manera efectiva, el segundo asfaltador, y la compactadora que lo sigue, deberán estar tan cerca como sea posible de la pavimentadora delantera para asegurar una densidad uniforme a través de la junta. La compactadora que sigue al segundo asfaltador compacta la costura en su primera pasada.

- **Juntas Frías**

Una junta fría es aquella entre dos carriles, uno de los cuales se ha dejado enfriar de un día para otro, o más, antes de colocar el carril contiguo. Debido a la diferencia de temperatura entre los dos carriles, casi siempre resulta una diferencia en densidad entre los dos lados de la junta sin importar la técnica de compactación usada.

La compactación longitudinal casi nunca produce una densidad uniforme en ambos lados de la junta. En la mayoría de los casos hay una zona de baja densidad en la junta en el primer carril colocado, y una zona de alta densidad en la junta en el carril de empalme. La única solución práctica para este problema parece estar en la pavimentación en escalón o en la pavimentación de ancho integral (total). La pavimentación en escalón permite que la junta sea compactada mientras la mezcla asfáltica todavía esta caliente a ambos lados. En realidad, la mayoría de la pavimentación se hace en carriles individuales. En

este caso es recomendable compactar la junta tan pronto como sea posible. En cualquier caso, las juntas longitudinales deberán compactarse directamente detrás del asfaltador.

- **Compactación de Bordes**

Los bordes del pavimento deberán compactarse al tiempo con la junta longitudinal, excepto en el caso de la pavimentación en escalón o la pavimentación de capa gruesa. Al compactar los bordes, las ruedas de la compactadora deberán extenderse de 50 a 100 mm más allá del borde, con tal que el desplazamiento lateral de la mezcla no sea excesivo.

Después de haber compactado las juntas longitudinales y los bordes, se deberá proceder a la compactación inicial (primera pasada).

- **Compactación Inicial**

Esta compactación puede efectuarse con compactadoras estáticas, o vibratorias de ruedas de acero.

Es importante comenzar la operación de compactación en la parte baja de la carpeta (usualmente la parte exterior del carril que está siendo pavimentado), avanzando hacia la parte alta. La razón es que las mezclas calientes tienden a desplazarse hacia la parte baja de la carpeta durante la compactación. Este desplazamiento de mezcla es más pronunciado cuando se comienza a

compactar el lado alto de la carpeta. Cuando se colocan carriles contiguos, se debe seguir el mismo procedimiento pero solamente después de haber compactado la junta longitudinal.

- **Compactación Intermedia**

La compactación intermedia debe seguir a la compactación inicial tan pronto como sea posible, mientras la mezcla asfáltica todavía se encuentra muy por encima de la temperatura mínima a la cual todavía se logra densificación (85°C).

La compactación intermedia debe ser continua hasta que toda la mezcla colocada haya sido completamente compactada (Ver fotografía N° 6.5). El patrón de compactación deberá desarrollarse de la misma manera que para la compactación inicial, sin importar el tipo de compactadora usada.



Fotografía N° 6.5

Proceso de Compactación

- **Compactación Final**

La compactación final se efectúa solamente para mejorar la superficie de la carpeta. Esta compactación deberá hacerse con ruedas tándem estáticas de acero, o con ruedas vibratorias (sin la vibración), mientras el material todavía está lo suficientemente caliente para permitir la eliminación de marcas o huellas causadas por las compactadoras (Ver fotografía N° 6.6).



Fotografía N° 6.6

Proceso de Compactación

- **Compactación de Áreas Inaccesibles**

Cuando la mezcla asfáltica se ha distribuido en áreas inaccesibles a las compactadoras, la compactación puede hacerse usando compactadoras de

mano de placas vibratorias. Las placas de estas compactadoras tienen, generalmente un área entre 0.1 y 0.3 m².

- **Compactaciones Particulares**

En la tabla N° 6.11 se resumen algunas consideraciones que pueden tomarse cuando se presente alguna de las particularidades que se muestran a continuación.

Tabla N° 6.11 **PROCEDIMIENTOS ESPECIALES DE COMPACTACIÓN**

CONSIDERACIONES PARA LA COMPACTACIONES PARTICULARES

RASANTES CON PENDIENTE PRONUNCIADA

Las rasantes normales no ofrecen ningún problema durante la compactación. Para las rasantes en pendientes, sin embargo, puede ser necesaria una variación en el procedimiento de compactación. En estas situaciones, gran parte de las fuerzas impartidas por la compactadora serán dirigidas hacia la parte baja de la pendiente, con posibilidades de causar movimientos excesivos de la mezcla en una dirección paralela a la pendiente. Para compensar esta tendencia, puede ser deseable efectuar las siguientes variaciones en la compactación

COMPACTADORAS ESTÁTICAS DE RUEDAS DE ACERO

Cuando se usen este tipo de compactadoras se debe retroceder la compactadora para que la rueda de dirección este en la dirección de la pavimentación. La acción de empuje y el peso ligero de esta rueda compensarán la tendencia de la mezcla a moverse hacia abajo, por la pendiente, e impartirán estabilidad adicional a la mezcla antes de que la rueda impulsora pase sobre ella.

COMPACTADORAS DE RUEDAS NEUMÁTICAS

No utilice este tipo de cilindradoras para la primera pasada.

COMPACTADORAS VIBRATORIAS

Opere este tipo de compactadoras en el modo estático, para la compactación inicial, hasta que la mezcla obtenga suficiente estabilidad para permitir una vibración de baja amplitud.

PAVIMENTACIÓN EN TIEMPOS FRÍOS

Las mezclas asfálticas se enfrían rápidamente cuando son colocadas sobre superficies frías en tiempos fríos. Además, las capas delgadas se enfrían más rápido que las capas gruesas. Es obvio que existe una ventaja en colocar capas gruesas si el tiempo esta frío, debido a que se puede ganar tiempo adicional para poder compactar adecuadamente la mezcla.

CAPAS DE REFUERZO DE PAVIMENTO

Se debe emplear una capa de nivelación cuando se este colocando una capa de refuerzo sobre un pavimento existente que tenga bastantes deformaciones en las rodadas (huellas de las ruedas). Esto permite eliminar las irregularidades superficiales. Una compactadora neumática es muy útil en la compactación de capas de nivelación. Este tipo de compactadora puede aplicar una presión uniforme sobre la superficie irregular, sin hacer puente sobre las huellas, en donde es muy importante obtener una densidad adecuada.

En la tabla N° 6.12 se muestran algunos factores que afectan la compactación:

Tabla N° 6.12		
FACTORES QUE AFECTAN LA COMPACTACIÓN ³⁰		
FACTOR	EFFECTO	CORRECCIONES*
AGREGADO		
Superficie lisa	Poca fricción entre partículas	Use rodillos livianos Disminuya la temperatura de la mezcla
Superficie áspera	Bastante fricción interparticular	Use rodillos pesados
Defectuoso	Se rompe bajo la acción de los Rodillos de ruedas de acero	Use agregado firme Use compactadores neumáticos
Absorbente	Seca la mezcla difícil de compactar	Aumente el contenido de asfalto en la mezcla
ASFALTO		
Viscosidad		
Alta	Movimiento limitado de partículas	Use rodillos pesados Aumente la temperatura
Baja	Las partículas se mueven fácilmente durante la compactación	Use rodillos livianos Disminuya la temperatura
Cantidad		
Bastante	Inestabilidad y plasticidad debajo del rodillo	Disminuya el contenido de asfalto en la mezcla
Poca	Disminuye la lubricación - difícil de compactar	Aumente el contenido de asfalto en la mezcla

Continua

³⁰ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente Serie de Manuales N° 22. MS – 22, Capítulo 6 Sécc. 6.7 Pág. 244

Tabla N° 6.12

FACTORES QUE AFECTAN LA COMPACTACIÓN³⁰		
MEZCLA		
Demasiado agregado grueso	Mezcla áspera – difícil de compactar	Disminuya el agregado grueso Use rodillos pesados
Demasiado arenosa	Demasiado manejable – difícil de compactar	Disminuya la arena en la mezcla Use rodillos livianos
Demasiado relleno mineral	Endurece la mezcla – difícil de compactar	Disminuya el relleno en la mezcla Use rodillos pesados
Muy poco relleno mineral	Poca cohesión – la mezcla puede desarmarse	Aumente el relleno en la mezcla
TEMPERATURA DE LA MEZCLA		
Alta	Difícil de compactar – la mezcla tiene poca cohesión	Disminuya la temperatura de mezclado
Baja	Difícil de compactar – la mezcla es demasiado rígida	Aumente la temperatura de mezclado
ESPESOR DE CAPA		
Capas gruesas	Mantiene el calor – más tiempo para compactar	Compacte normalmente
Capas delgadas	Pierden el calor – menos tiempo para compactar	Compacte antes de que la mezcla se enfríe Aumente la temperatura de la mezcla
CONDICIONES CLIMÁTICAS		
Baja temperatura ambiental	La mezcla se enfría muy rápido	Compacte antes de que la mezcla se enfríe
Baja temperatura superficial	La mezcla se enfría muy rápido	Aumente la temperatura de la mezcla
Viento	Enfría la mezcla – endurece la superficie	Aumente el espesor de la capa

*Las correcciones pueden hacerse por tanteo en la planta o en el lugar de la obra. Otras correcciones adicionales pueden sugerir de cambios en el diseño de la mezcla.

A continuación se presenta una norma de ejecución específico para el Recarpeteo proporcionado por la SIECA (Ver tabla N° 6.13). Esta tabla muestra el procedimiento, el propósito, los criterios de ejecución, mano de obra, equipo, herramientas y unidades.

Tabla N° 6.13		
PROCEDIMIENTO DE RECARPETEO SEGÚN LA SIECA ³¹		
CÓDIGO N°: PER - 002	NOMBRE: COLOCACIÓN DE CAPAS ASFÁLTICAS DE REFUERZO, (RECARPETEO) EN CALIENTE	CATEGORÍA DE MANTENIMIENTO: PERIÓDICA
DESCRIPCIÓN: La colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica sobre pavimento existente.		
PROPÓSITO: Reforzar la estructura de la carpeta de rodadura, prologar su vida útil y proveer una superficie lisa para el tránsito.		
CRITERIO PARA LA EJECUCIÓN: Se ejecutará cuando la superficie existente se está deteriorando o se presenten huellas, rugosidad, etc., tomando en cuenta la finalidad de repavimentar cada carretera con superficie asfáltica en forma periódica. De acuerdo a lo determinado por el Departamento de Ingeniería de Mantenimiento.		
CANT.	MANO DE OBRA	PROCEDIMIENTO
1	Auxiliar de Asfaltos	1. Para iniciar la actividad hacer inspección y revisión de todo el equipo. Se deben efectuar por lo menos con una semana de anticipación, para poder corregir cualquier defecto. Comprobar que el área a recarpetear ha sido previamente bachada. 2. Solicitar Plataforma y Cabezal para transporte del equipo. 3. Traslado del equipo al lugar de la obra, establecimiento de comunicación con la planta de mezcla asfáltica y nueva revisión del equipo. 4. Colocar señales y dispositivos de seguridad. 5. Marcar la línea guía para la Pavimentadora. Barrer la superficie. 6. Aplicar la liga (asfalto RC-250 ó Emulsión Asfáltica) según especificaciones de diseño. 7. En el sitio, comprobar la temperatura de la mezcla en cada camión que llega de la Planta. 8. Colocar la carpeta bituminosa en caliente, según ancho y espesor establecidos. 9. a) Compactar con Rodillo metálico, antes de que enfríe, tratar las juntas primero. b) Compactar con Compactadora Neumática varias pasadas. c) Compactar con Rodillo, la pasada final. d) Los bordes y esquinas compactarlas con mazo metálico. 10. Antes de finalizar la jornada de trabajo, preparar la junta transversal, usando papel adecuado, para continuar al día siguiente. 11. Limpiar y revisar el equipo diariamente después
1	Caporal	
10	peones	
11	Pilotos	
1	Operador de Barredora Autopropulsada	
1	Operador de Compactadora Rodillo Metálico	
1	Operador de Compactadora Llantas Neumáticas	
1	Operador de Pavimentadora	
1	Operador de Distribuidora de asfaltos Autopropulsada	
4	Ayudantes de Operador	

³¹ Fuente: Manual de Normas y Procedimientos de la S.I.E.C.A., Capítulo 2, Código: PER-02

32			TOTAL
CANT.	EQUIPO NECESARIO		% T.P.
1	Pick-up		35
10	Camiones de volteo		75
1	Camión Regador de Agua		50
1	Barredora Autopropulsada		35
1	Compactadora Rodillo Metálico		50
1	Compactadora Llantas Neumáticas		50
1	Pavimentadora Autopropulsada		65
1	Distribuidora de asfaltos Autopropulsada		35
2	Termómetros para Asfalto		50
CANT.	UNIDAD	MATERIALES	
110	m ³	Mezcla Asfáltica en Caliente	
220	gal	Asfalto RC-250 o emulsión asfáltica SS	
4.5	m ²	Papel Construcción para Juntas	
CANT.	HERRAMIENTA		
10	Palas		
5	Azadones		
5	Cepillos		
5	Escobones		
3	Rastrillos		
2	Carretillas de mano		
UNIDAD DE MEDIDA:			
Metro cúbico de mezcla asfáltica			
PRODUCCIÓN PROMEDIO POR DÍA:			
110 m ³ de Mezcla Asfáltica compactada (capas de 5 ó centímetros de espesor) / día			
APROBADO POR:			
FECHA:			

de cada jornada de trabajo.

12. Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocados.

NOTA:
002-A Colocación de capas asfálticas de refuerzo (recarpeteo) en caliente/mezcla asfáltica 002-B Colocación de capas asfálticas de refuerzo (recarpeteo) en caliente/tratamiento superficial.

A continuación se muestra la tabla N° 6.14 en la cual se enfoca un resumen general de temperaturas útiles durante el proceso de compactación.

Tabla N° 6.14

TEMPERATURAS DE PROCESO DE COMPACTACION³²

ÁREA PARA LA TOMA DE TEMPERATURA	TEMPERATURA °C
Temperatura de salida de la planta.	<ul style="list-style-type: none"> • Máximo 165 o • La especificada en el diseño aprobado de la mezcla.
Imprimado	30 - 40
Temperatura de llegada al Proyecto	130 - 140
Temperatura de colocación	85 - 135
Temperatura de Compactación Inicial	135
Temperatura de Compactación Intermedia	85 - 135
Rodo Liso	90 - 110
Neumática	70 - 80
Abrir Trafico	30 - 40

6.5 MEDICIONES DE CAMPO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO Y DESPUES.

6.5.1 CONTROL DE CALIDAD, TOLERANCIAS Y ACEPTACIÓN.

El control de calidad de los materiales y el proceso de construcción debe llenar los requisitos estipulados en el Capitulo III, además deben seguirse las indicaciones señaladas en la tabla siguiente (tabla N° 6.15):

³² Fuente: entrevistas a laboratorios de suelos y materiales

Tabla N° 6.15

CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES³³

Abrasión.	En cada banco se debe efectuar tres ensayos del material en su estado original. Durante la producción se debe efectuar un ensayo @ 2,000 metros cúbicos de material triturado hasta alcanzar los 10,000 metros cúbicos y seguidamente uno cada 10,000 metros cúbicos o cuando cambien las características del banco.
Caras Fracturadas	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas Planas y Alargadas y Angularidad del Agregado Fino en Mezclas. Se debe efectuar un ensayo cada 100 metros cúbicos de los primeros 1,000 metros cúbicos producidos de cada banco y seguidamente uno por cada 5,000 metros cúbicos.
Granulometría de la Mezcla.	Se debe efectuar un ensayo AASHTO T 30 por cada 200 metros cúbicos de los primeros 1,000 metros cúbicos producidos, y seguidamente un ensayo cada 400 metros cúbicos.
Plasticidad y Equivalente de Arena.	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe efectuar un ensayo cada 2,000 metros cúbicos de agregado producido
Cemento Asfáltico.	El Contratista deberá proporcionar los certificados de calidad extendidos por el proveedor en donde se hagan constar las características del material bituminoso correspondientes al grado especificado proveído por lote de producción o embarque según sea aplicable, sin menoscabo de las verificaciones periódicas que se ordenen, efectuando las operaciones de muestreo de conformidad con AASHTO T 40. Dichas verificaciones podrán efectuarse bimensualmente.
Mezcla Asfáltica.	El Contratista debe efectuar ensayos completos de las características volumétricas de la mezcla y ensayos de estabilidad Marshall cuando éste sea el método de diseño utilizado, para determinar si llena los requisitos incluyendo porcentaje de asfalto, por cada 400 metros cúbicos de mezcla colocada y compactada. La condición anterior no excluye los controles de temperatura, proporciones de agregados mezclados y contenido de asfalto que se deberán verificar en forma continua en los indicadores de los dispositivos de control de la planta de producción del concreto asfáltico.

6.5.1.1 TOLERANCIAS EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

Si los ensayos efectuados a los materiales que se utilicen en todo el proceso de construcción del Concreto Asfáltico, no llenan los valores especificados, para cada una de las características indicadas anteriormente; después de efectuadas

³³ Fuente: Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes de La República de Guatemala. Sección 401.18, Páginas: 401-16 – 401-17

las verificaciones necesarias, y si esta condición persiste en más del 20% de los ensayos repetidos en un mismo lote de producción, el Contratista debe hacer las correcciones necesarias a su costo o el material será rechazado.

6.5.1.2 TOLERANCIAS EN LOS REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

a) Compactación. Para aceptación de la capa de concreto asfáltico se establece una tolerancia de un 1% en menos, respecto al porcentaje de compactación si la densidad máxima se determina según AASHTO T 209 ó de un 3% si la densidad máxima se determina basándose en especímenes compactados según AASHTO T 245, (ver Figura N° 6.8).

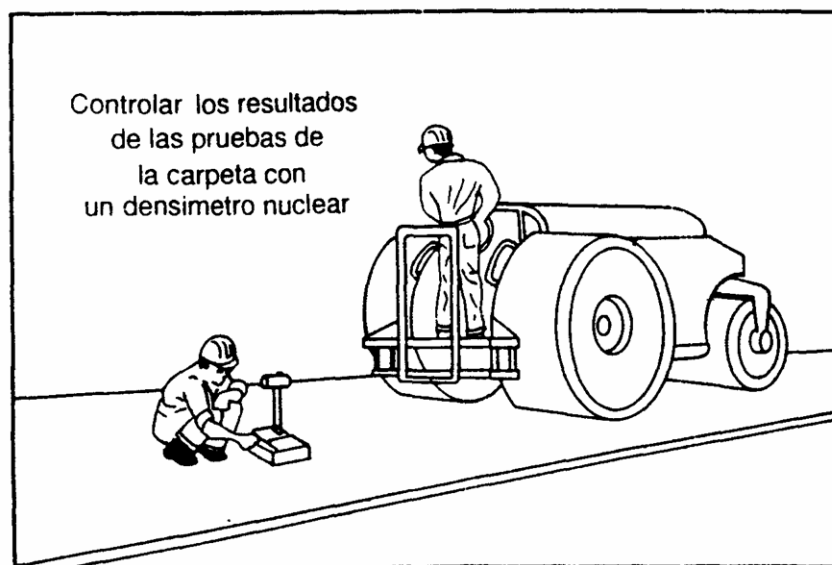


Figura N° 6.8

Densímetro Nuclear.

Se debe efectuar un ensayo representativo por cada 400 metros cuadrados de concreto asfáltico, de cada una de las capas que se compacten. Las densidades no deben ser efectuadas a una distancia menor de 40 metros en sentido longitudinal sobre la superficie compactada que se está controlando, a menos que se trate de áreas delimitadas para corrección.

b) Tolerancias en los Requisitos. La mezcla suministrada debe llenar los requisitos de las tolerancias según tabla 6.16:

Tabla 6.16		
REQUISITOS Y TOLERANCIAS ³⁴		
Requisitos y Tolerancias		Tolerancia en más o en menos
Agregado retenido en Tamiz Nº 4	(4.750 mm)	4 % en peso del material pétreo
Agregado retenido en Tamiz Nº 8	(2.360 mm)	3 % en peso del material pétreo
Agregado retenido en Tamiz Nº 30	(0.600 mm)	2 % en peso del material pétreo
Agregado que pasa el Tamiz Nº 200	(0.075 mm)	1 % en peso del material pétreo
Contenido de cemento asfáltico		0.3 % en peso de la mezcla total
Temperatura para mezclar, tender y compactar		5° Centígrados

c) Espesor. El espesor de capa de concreto asfáltico, se debe verificar al efectuar cada ensayo de control de compactación según AASHTO T 230, a menos que se hayan utilizado los métodos no destructivos, en cuyo

³⁴ Fuente: Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes de La República de Guatemala. Sección 401.18, Página: 401-17

caso se deben efectuar perforaciones cada 800 metros cuadrados, para verificación del espesor. Se establece una tolerancia de ± 5 milímetros, pero el promedio aritmético de los espesores determinados cada kilómetro, no debe diferir en más de 2.5 milímetros del espesor estipulado en los planos.

d) Superficie. La conformación de la superficie terminada de la capa de concreto asfáltico debe ser verificada mediante la utilización de una regla recta rodante ó una regla o varilla de 3 metros de longitud graduada, determinándose si la altura es constante sobre la superficie en sentido transversal y longitudinal. No se permiten irregularidades mayores de 2.5 milímetros en el sentido paralelo al eje de la carretera ni mayores de 5 milímetros en el sentido transversal.

En las Disposiciones Especiales deberá establecerse el Índice de Rugosidad IRI (International Roughness Index) máximo permisible aplicable a cada capa de concreto asfáltico.

e) Deflexión. El Contratista debe controlar, por medio de la Viga Benkelman método AASHTO T 256, o por la aplicación de otro método técnico, reconocido y aceptado profesionalmente y establecido en las Disposiciones Especiales, si la deflexión de la capa de concreto asfáltico

conformada y compactada, no sobrepasa el valor de deflexión máxima permisible para dicha capa, de acuerdo con la carga e intensidad de tránsito de diseño del pavimento.

En defecto de una definición de la deflexión máxima permisible, el valor máximo de dicha deflexión respecto a un punto dado, a una distancia no mayor de 3.68 metros en cualquier dirección para la capa de superficie de concreto asfáltico será el especificado según la tabla N° 6.17. El Contratista debe efectuar una prueba de campo para determinar la deflexión, por cada 400 metros cuadrados, en la superficie de la capa de concreto asfáltico compactada, previamente a su aceptación.

Tabla N° 6.17

DEFLEXIONES MÁXIMAS PERMISIBLES³⁵	
Ejes equivalentes en el carril de diseño ESAL	Deflexión Permisible
< 5.0 x 10 ⁶	0.60 mm (0.024 pulgada)
5.0 x 10 ⁶ < ESAL < 10.0 x 10 ⁶	0.50 mm (0.020 pulgada)
10.0 x 10 ⁶ < ESAL < 30.0 x 10 ⁶	0.40 mm (0.015 pulgada)
30.0 x 10 ⁶ < ESAL < 50.0 x 10 ⁶	0.35 mm (0.014 pulgada)

De preferencia la prueba de deflexión se debe hacer en la franja de mayor circulación del tránsito previsto, y siguiendo un orden alternado de: derecha e izquierda del eje.

³⁵ Fuente: Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes de La República de Guatemala. Sección 401.08, Página: 401-18.

El Contratista debe contar con la maquinaria y equipo necesarios para efectuar este control con el método AASHTO T 256 anteriormente indicado, o el que corresponda según las Disposiciones de las Especificaciones Técnicas.

f) Aceptación.

- *Mezcla de Concreto Asfáltico.* La mezcla debe ser rechazada, si la temperatura en el momento de descarga en la carretera es menor de la temperatura de tendido, con la tolerancia establecida.
- *Aceptación de la Capa de Concreto Asfáltico.* Se debe efectuar, hasta que ésta se encuentre, en el ancho total de superficie indicado en las secciones típicas de pavimentación, debidamente compactada y dentro de las tolerancias establecidas.

6.5.2 CORRECCIONES.

Cuando sea necesario corregir la capa de concreto asfáltico por defectos de construcción o variaciones de diseño, se procederá en la forma siguiente:

- Correcciones por Defectos de Construcción o Causas Imputables al Contratista. Corrección de Defectos en la Superficie, Espesor Deficiente, Baches, Grietas, Segregación y Laminación. El área previamente delimitada por el Supervisor, debe excavarse en forma rectangular y con paredes verticales, en el espesor total de la capa, colocar un riego de liga en el fondo expuesto y en las paredes

de los bordes laterales y sustituirse por una mezcla que esté dentro de especificaciones. Después de sustituir el material, se debe proceder a compactarla de nuevo, hasta que tanto el área delimitada como la superficie adyacente, cumplan con los requisitos de las Especificaciones Generales, Especificaciones Técnicas y planos correspondientes.

- **Correcciones por Variaciones de Diseño o Causas no Imputables al Contratista.**

Cuando sea necesario efectuar correcciones de la capa de concreto asfáltico, por variaciones de diseño o causas no imputables al Contratista, el Supervisor debe proceder a delimitar el área afectada, ordenando las correcciones necesarias, por cuyo trabajo se debe pagar al Contratista a los precios unitarios de contrato, o en su defecto, por medio de un Acuerdo de Trabajo Extra.

6.6 TABLA GUÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN RECARPETEOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

Tabla 6.18 TABLA GUÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN RECARPETEOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.	
ACTIVIDAD	Nº DE TABLA
AGREGADOS	
Ensayos de Laboratorio para Materiales en MAC	2.1
Rango de valores para los Ensayos de Laboratorio para Materiales en MAC ().	2.2
Rango de Valores nominales para la Graduación de Agregados para Recarpeteos con Mezclas Asfálticas en Caliente	2.6
Vacíos en el Agregado Mineral(Requisitos de VMA)	3.1
Requerimientos de Superpave Para las Propiedades de Consenso del Agregado Grueso	3.8
Requerimientos de Superpave Para las Propiedades de Consenso del Agregado Fino	3.9
Partículas Chatas Y Alargadas Superpave	3.10
Contenido de Arcilla Superpave	3.11
Granulometría Superpave	3.12, 3.13, 3.14, 3.15
Formulario de Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso	5.12
Formulario de Ensayo de resistencia a la abrasión en Máquina delos Ángeles	5.13
Formulario de Ensayo de Partículas planas y alargadas	5.14
Formulario de Cubicidad de las partículas	5.15
Formulario de Ensayo de Sanidad para agregado grueso	5.16
Formulario de Ensayo de Sanidad para agregado fino	5.18
Formulario de ensayo Valor equivalente de arena	5.19
Formulario ensayo Índice de durabilidad en agregados pétreos	5.20
ASFALTOS	
Requisitos para Cementos Asfálticos Clasificados por Viscosidad a 60°C	2.3
Requisitos Para Cementos Asfálticos Clasificados Por Viscosidad a 60 °C (Basada en el Residuo del Ensayo de RTFO)	2.4
Requisitos Para Cementos Asfálticos Clasificados Por Viscosidad a 60 °C	2.5
Tipos de asfalto utilizados para el Riego de Liga	6.6
MEZCLA ASFÁLTICA	
Causas y Efectos en las Propiedades de las Mezclas Asfálticas para Recarpeteos.	3.2
Ensayos de Laboratorio para Materiales en MAC	2.1
Rango de valores para los Ensayos de Laboratorio para Materiales en MAC	2.2
Especificación Superpave de Ligantes Asfálticos y especificación del grado de Performance del ligante	3.9

Tabla 6.18

TABLA GUÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN RECARPETEOS CON MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

MÉTODOS DE DISEÑO	
Criterios para el Diseño Marshall	3.3
Pasos para el Diseño de mezclas asfálticas por el método Marshall	3.4
Parámetros de diseño para Marshall modificado	3.5
Especificación Superpave de Ligantes Asfálticos y especificación del grado de Performance del ligante	3.9
EVALUACIÓN DE DAÑOS	
Daños en términos generales	4.2
Catalogo de daños según SIECA	4.3
Ensayos de carga	4.4
Capacidad de Soporte	4.5
CBR según tipo de suelo	4.6
Capacidad Estructural	4.7
IRI	4.8
Causas de Ahuellamiento y soluciones	4.9
Cuantificación de peladuras y baches	4.12
Serviciabilidad	4.13
Calificación de Fallas según el Instituto del Asfalto	4.15
Factores de Daños según tipo de tráfico	4.19
FORMULARIOS DE CONTROL	
Formato de evaluación de pavimento asfáltico según Instituto del Asfalto	4.10a
Formato para Levantamiento de Daños	4.10b
Formato para Levantamiento general de Daños en el pavimento	4.16
Formulario para remisión de Ítems	5.1
Documento de Aprobación de Requisitos Contractuales	5.2
Formato del Documento de Aprobación de Requisitos Contractuales (DARC)	5.3
Registro de Entregas de Documentos de Aprobación de Requisitos Contractuales (DARC)	5.4
Control de Colocación de Mezcla Asfáltica en Caliente	5.5
Control para Riegos de Imprimación y Liga en pavimentos asfálticos	5.6
Resumen de las Fases de Inspección	5.7
Reporte del Control de Calidad del Contratista	5.8
Reporte de Acciones Correctoras	5.30
Reporte Preliminar de Inspección – Planta de Mezcla en Caliente	6.4
Listado de Interrogantes según Normas	6.5

Tabla 6.18

**TABLA GUÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN RECARPETEOS CON MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE.**

PROCESO CONSTRUCTIVO

Exigencias Físicas para Plantas Mezcladoras	6.1
Temperaturas de la Mezcla en el Mezclador para distintos tipos de asfalto	6.2
Controles e Inspecciones de Campo	6.3
Procedimientos de compactación para diferentes espesores	6.10
Procedimientos especiales de compactación. Consideraciones para compactaciones particulares	6.11
Factores que afectan la compactación	6.12
Procedimiento de Recarpeteo según la SIECA	6.13
Temperaturas del proceso de compactación	6.14

CAPÍTULO VIII
**ANALISIS Y EVALUACION DE UN
PROYECTO DONDE FUE APLICADO
EL RECARPETEO**

CAPÍTULO VII. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DONDE FUE APLICADO EL RECARPETEO.

7.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo es la aplicación de todos los datos proporcionados a lo largo de este trabajo, en el cual se analiza un proyecto que fue ejecutado en el país con la técnica del Recarpeteo con Mezcla Asfáltica en Caliente.

Se obtuvo buena parte de la Información referente a análisis de condiciones estructurales y funcionales de la vía, esto incluye datos de tránsito, deflexiones, ensayos y resultados geotécnicos (Clasificación del suelo de la base y sub base), Rugosidad (IRI), Ahuellamiento, levantamiento de daños superficiales, etc.

Además incluye el diseño de la mezcla con los resultados de calidad de todos los ensayos que deben practicarse y a los cuales se les ha analizado para asegurarnos de que los datos obtenidos, cumplen con los parámetros propios sugeridos por las diferentes normas que se han detallado en esta investigación.

No fue posible obtener los registros de la etapa de ejecución, pero hacemos un análisis de los datos que deben cuidarse y los rangos aceptables en los que deben estar los parámetros propios de esta etapa.

Al final, aportamos nuestra apreciación de Calidad de todo el proyecto, basada en la evaluación de cada parámetro que fue propuesto, el que se sugiere consultar para conocer datos y procesos involucrados en el Recarpeteo.

7.2 GENERALIDADES

El proyecto en estudio consiste en una carretera de categoría primaria, con 21.05 km, la cual presentaba deficiencias estructurales y funcionales las que se evaluaron para poder realizar un diagnóstico exacto de la condición actual del pavimento y en base a éstos resultados se recomendó utilizar la metodología del recarpeteo.

A continuación se detallan todos los datos iniciales, estudios y ensayos utilizados y todo el proceso involucrado.

La empresa constructora se apoyo en algunos estudios previamente realizados, para recolectar datos básicos, como el tránsito promedio diario según el informe: "Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos para El Salvador", llevado a cabo por empresas particulares para el Ministerio de Obras Públicas de El Salvador (MOP).

Los espesores existentes de carpeta fueron determinados por medio de la extracción de núcleos.

Para la medición de las deflexiones, se utilizó el método de carga de impulso por medio de un Deflectómetro de Impacto.

Para evaluar el aspecto funcional, se midió la rugosidad (IRI) y el ahuellamiento para así valorar la condición de deformación de la vía y tener una apreciación de la comodidad que el usuario percibe de la misma, además se hizo el levantamiento de daños superficiales.

Todos estos parámetros que inicialmente fueron evaluados, concuerdan totalmente con los mínimos necesarios que se plasmaron en esta Guía para el Control de la calidad en Recarpeteos con Mezclas Asfálticas en Caliente.

7.3 EVALUACIÓN DE CONDICIONES ESTRUCTURALES

7.3.1 MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN

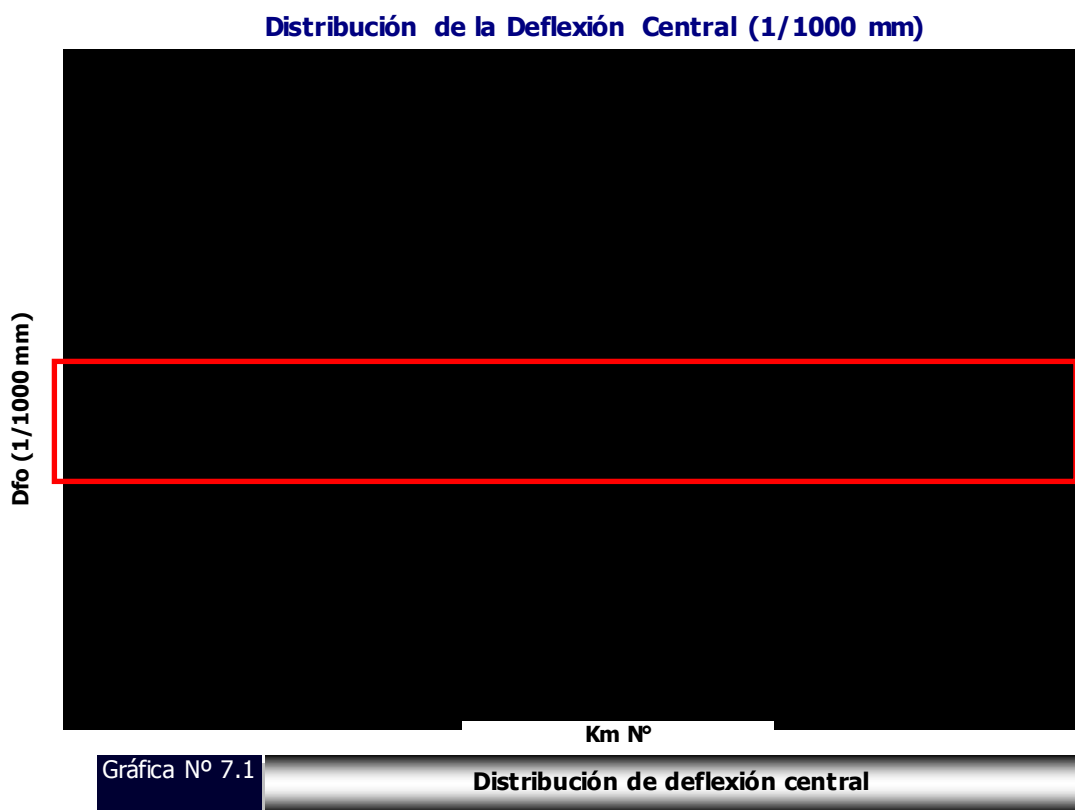
Como se mencionó anteriormente, los datos de deflexión fueron obtenidos por medio de la utilización del Deflectómetro de Impacto, el cual es un método no destructivo. Estas mediciones consistieron en aplicar una carga dinámica en el pavimento (en este caso en un rango de 4.0 - 4.5 T) causada por la caída de una masa sobre un plato circular cuya superficie de contacto se asemeja a la rueda de un camión.

La curva de deflexión fue medida por medio de un grupo de geófonos (sensores) ubicados a distancias de 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 cm del centro de disco de carga de diámetro 30cm y registrados automáticamente en un computador portable.

Las mediciones fueron realizadas en puntos distanciados cada 250m a lo largo de cada carril en cada una de las vías. En cada uno de estos puntos se midieron tres veces las deflexiones producidas por la caída de la carga.

El software utilizado, creó una gráfica con la distribución de la deflexión central y el radio de curvatura de la deflexión, a lo largo de la vía (ver gráfica N° 7.1).

En ésta gráfica se aprecia el rango de estacionamientos que presentan las condiciones más críticas, por lo cual se tomó ese rango como el más significativo para la evaluación de este parámetro.



De acuerdo a los datos reflejados por la gráfica para este proyecto se tomó una deflexión promedio de **500 – 700 mm**

Del Km 49+000 al Km 51+500 los valores de deflexión fueron de 1000/1000 mm, lo mismo del Km 58+200 al Km 59+200. Del Km 60+500 al Km 63+000 se obtuvo valores de 900/1000mm. Estos sectores pueden presentar una deficiencia estructural.

Se debe recordar que en el capítulo 4 se detalló que valores mayores de 1000/1000 mm resultan críticos para una estructura. Por lo que los datos de deflexión que se tomaron como representativos, son valores razonables de capacidad de soporte y que reflejan una estructura que no está seriamente dañada. Cabe la pena observar que existen algunos sectores donde los valores de deflexión reflejaron una deficiencia estructural, tal como se mencionó anteriormente, pero en conclusión, se manejó adecuadamente el valor de deflexión, acertando en la forma en que se agrupó los sectores o estacionamientos que por su condición de deformación podía representar a toda la sección en estudio.

7.3.2 ESTUDIO GEOTÉCNICO

Para evaluar la etapa de las condiciones presentes en el pavimento en estudio, se hicieron perforaciones de pozos a cielo abierto en los cuales se realizaron diferentes ensayos que incluían la clasificación del Suelo, determinación de los límites: líquido y plástico.

Con la extracción de núcleos, se determinaron los espesores de los diferentes estratos y se esquematizó con gráficas similares a las mostradas en la sección 4.3.1.3 del capítulo 4.

De acuerdo a estos ensayos se determinó que:

- El **espesor de capa varía de 50 a 70 mm** en todo el sector. Estos espesores son comunes en las carpetas asfálticas.
- La base presenta un **material granular de 150 a 250 mm** de espesor, bien densificado, que fue clasificado como **Grava arenosa No Triturada**. El material granular es canto rodado sin trituración y presenta buena densificación.
- El material de la subrasante es en gran parte de la vía, una Arena Limosa y solamente en algunos sectores como el km 51+000 al km 63+000 es un limo de baja plasticidad. Esto concuerda con los datos de deflexión tomados en esas mismas estaciones, donde se obtuvieron mayores deformaciones debido a la carga aplicada por el Deflectómetro de Impacto.
- Los valores de Plasticidad³⁶ obtenidos fueron menores del 10% a excepción del Km 50+000 que presentó un valor del 16%.
- El CBR del material de subrasante presenta valores altos, típicos característicos de arenas limosas de baja humedad (La información que obtuvimos no registra el valor específico de CBR que se obtuvo, pero se recuerda que se puede revisar los valores de las tablas N° 4.5 y N° 4.6 y el gráfico N° 4.4).

³⁶ Consultar libro de Mecánica de Suelos Tomo I de Juárez Badillo

- Debido a lo anterior, el material se consideró como de buena calidad y además por los bajos valores de plasticidad existentes. El material granular (canto rodado sin trituración), presentó buena densificación.
- El Módulo Resiliente de la Subrasante M_R osciló entre los siguientes valores (ver tabla N° 7.1):

Tabla N° 7.1 Sector	Módulo Resiliente Promedio(kg/cm ²)
Km 40 – km 44	500 - 700
Km 44 – km 58	900 - 1200
Km 58 – km 63	600 - 800

Estos valores de M_R (tabla N° 7.1) a nuestro juicio, si presentan una incongruencia obvia, pues al comparar los valores obtenidos del Km 44 al 58, con los valores de deflexión central para ese mismo tramo (ver grafica N° 7.1), el módulo resiliente debería haber arrojado valores más bajos, debido a los valores altos de deflexión comprendidos entre el Km 48 y el Km 52

Para el dato de M_R se debe recordar que también se puede calcular por la fórmula $M_R = \frac{0.24P}{d_r r}$ descrita en el capítulo 4 sección 4.3.1.2. Al calcularlo con la fórmula, se debe tomar en cuenta que la carga debe convertirse a Kg, las

deflexiones están en 1/1000 mm y las distancias deben estar en cm para obtener unidades de kg/cm^2 .

Los valores que se obtienen al realizar el cálculo son aproximadamente de:

$640 \text{ kg}/\text{cm}^2$, lo cual concuerda con los valores reflejados en la tabla anterior, el cuidado solamente es la utilización de las unidades.

7.3.3 CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS (SN).

A partir de las mediciones de deflexión e interpretando las curvas de deflexión que fueron tomadas en cada punto, establecieron la falta estructural por medio del Número Estructural Efectivo (SN_{ef}), para los cual utilizaron la ecuación base que se plasmó en el capítulo 4 sección 4.3.1.3.2.

A continuación se presenta los datos de SN_{ef} que se obtuvieron del proyecto (ver tabla N° 7.2):

Tabla N° 7.2	SN _{ef} Percentil 85
Sector	
Km 40 – km 44	2.0
Km 44 – km 58	1.4 – 1.8
Km 58 – km 63	1.3 – 2.0

De los datos anteriores, y comparados con los mostrados en la tabla N° 4.6 del capítulo 4, podemos concluir que la capacidad estructural del pavimento representa a un pavimento en condición mala, ya que se encuentra en el rango de $\text{SN} < 2$.

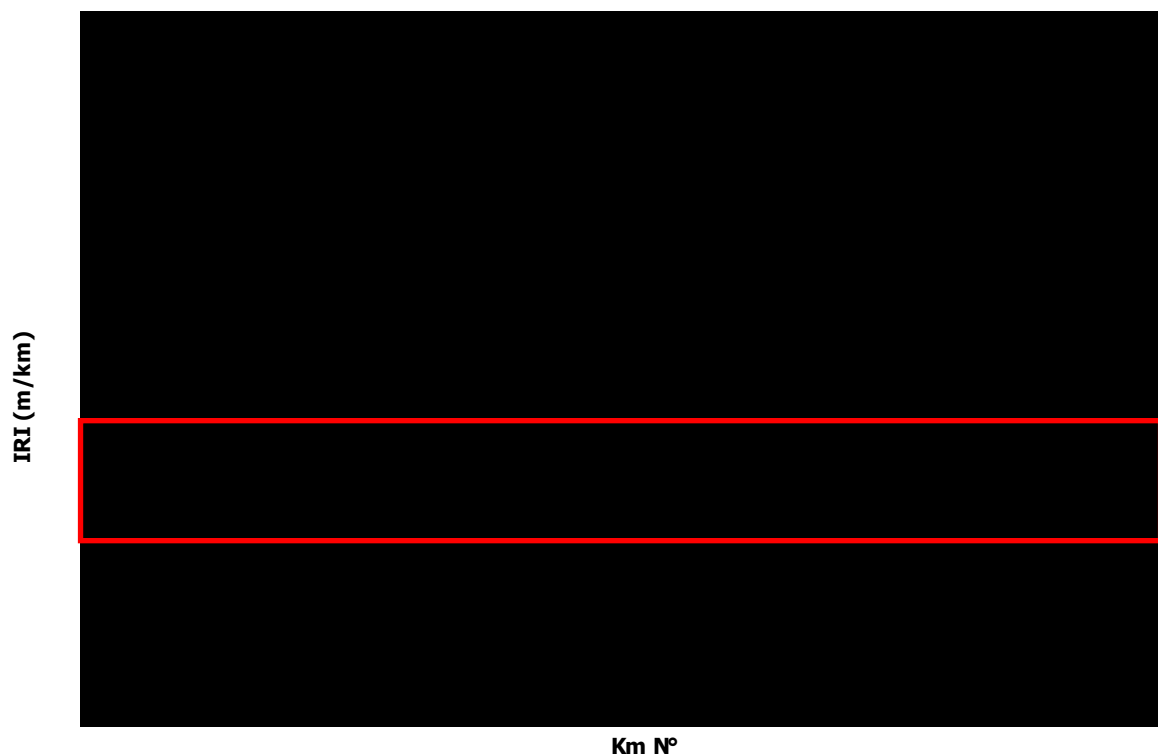
7.4 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FUNCIONALES

7.4.1 RUGOSIDAD (IRI)

Este parámetro fue evaluado por medio del equipo Road Surface Profiler (RSP), con el que se obtuvo lecturas continuas de la superficie del pavimento, representadas en valores de IRI, tomadas a distancias predeterminadas en unidades de metros acumulados (desplazamientos verticales) por km recorrido(m/km).

La escala del Índice de Rugosidad Superficial sube de acuerdo al deterioro de la capa de rodadura. Todos estos registros están plasmados en la gráfica N° 7.2:

Distribución de la Rugosidad IRI (m/km)



Gráfica N° 7.2

Distribución del Índice de Rugosidad

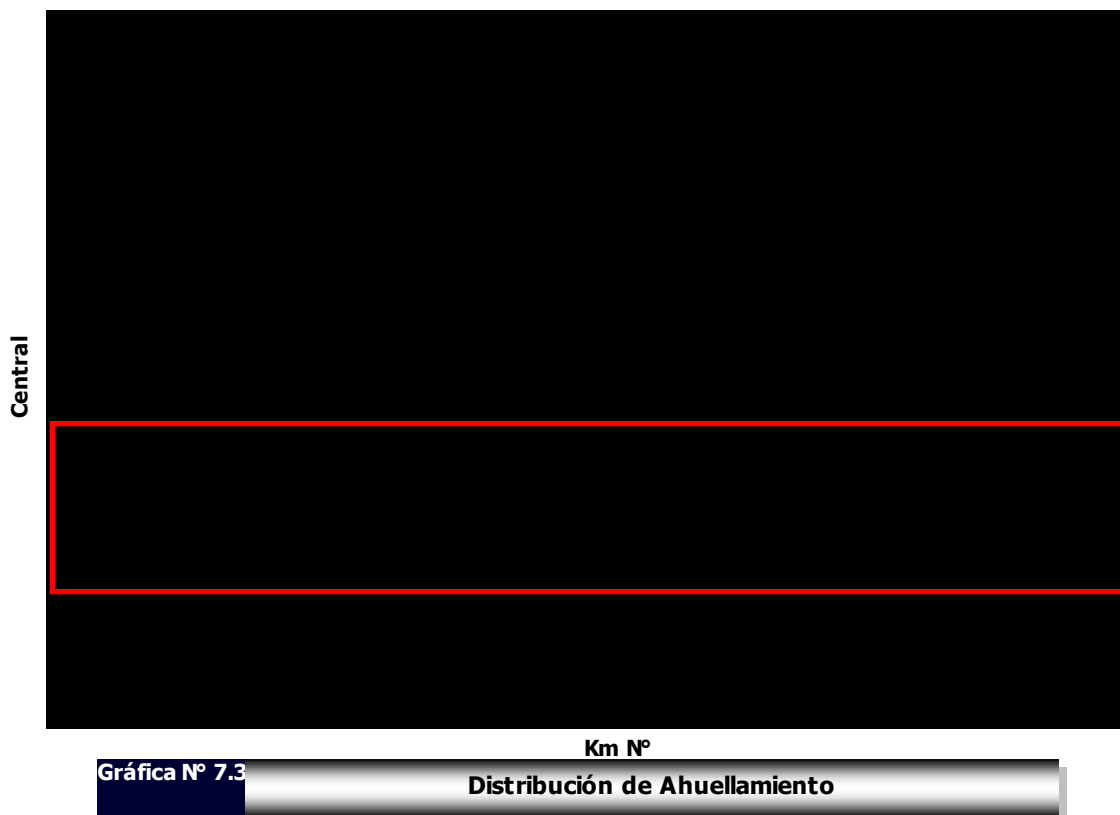
Los valores de IRI que el ejecutor consideró como representativos de más del 85% respecto de toda la vía fueron de **1.8 - 3.0 m / km**. Estos valores los hemos comparado con los rangos de la tabla N° 4.8 y pertenecen a las calificaciones de **Bueno a Regular** por lo se refleja que entre los km 0+000 al km 58+000 aproximadamente, no hay muchos problemas de comodidad para el usuario y el nivel de serviciabilidad debería oscilar entre 3-5, es decir, con calificación de Regular a Buena. Recordemos que el IRI es un parámetro que está íntimamente relacionado con el Nivel de Serviabilidad descrito en el capítulo 4.

Según se observa en la gráfica, del km 60 al km 63, el promedio de IRI se encuentra entre 7 y 8 m/km, lo que denota un pavimento con calificación Muy Mala de acuerdo a la tabla N° 4.8 del capítulo 4.

7.4.2 AHUELLAMIENTO (RUT)

Este parámetro también se midió por medio del equipo RSP descrito anteriormente. Se evaluó en un carril de circulación, midiendo ambas huellas y se tomo el promedio de ellas. El RSP tomó los datos que luego se procesaron en la computadora, la cual refleja las mediciones por medio de la gráfica N° 7.3.

Distribución del Ahuellamiento (mm)



Los valores de Ahuellamiento que el ejecutor consideró como representativos para los tramos fueron de **3 - 6 mm**. Lo que no representa una condición crítica de ahuellamiento para el pavimento y puede resolverse a nuestro criterio con bacheo o con fresado de las áreas más dañadas.

7.4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS SUPERFICIALES

Se hizo un recorrido por la vía para hacer el levantamiento de los daños superficiales y los resultados obtenidos, se recopilan a continuación (ver tabla N° 7.3):

Tabla N° 7.3 ESTACIÓN	DAÑOS ENCONTRADOS	PORCENTAJE
Km 40+000 al Km 50+000	Piel de Cocodrilo Fisuras longitudinales Bacheo	5 a 10%
Km 41 +000 al Km 42+000	Piel de Cocodrilo	40%
Km 51 al Km 60	Parcheo Piel de cocodrilo	40%.
Km 60 al Km 63	Piel de Cocodrilo Bacheo	100%

Los daños existentes, son evidentemente producto de una capa asfáltica fatigada. Esto lo podemos comprobar si analizamos con los valores que se obtuvieron de las deflexiones para las mismas secciones.

Según el gráfico de la deflexión central, del km 40+000 al km 50+000, se observa que los valores registrados se mantienen en rangos aceptables debido a que la deformación que presenta ese tramo, no demuestran un pavimento en calificación crítica. Lo mismo se puede apreciar para el mismo estacionamiento para valores de rugosidad. Si se analiza los tramos del km 51+000 al km 60+000 se aprecia un aumento en valores de rugosidad las condiciones de deterioro de la vía son mayores. Además de acuerdo al estudio geotécnico, del km 51+000 al km 63+000 es un limo de baja plasticidad. Y como se mencionó,

los datos de deflexión tomados en esas mismas estaciones presentaron mayores deformaciones debido a la carga aplicada por el Deflectómetro de Impacto.

A continuación se muestra una tabla (ver tabla N° 7.4) con los valores básicos que la empresa diseñadora proporcionó, después de haber homogeneizado las secciones del pavimento, esta agrupación que se desarrolló, es congruente con lo propuesto en esta guía debido a que se asoció tramos de acuerdo a condiciones estructurales y funcionales similares y manteniendo obviamente cubiertos, todos los parámetros reales de todo el pavimento.

Tabla N° 7.4

SECCIONES HOMOGÉNEAS CARRETERA EN ESTUDIO						
Sección		Parámetros				
Km Inicio	Km Final	Tránsito (Ejes Equivalentes de 8.2 T)	Rugosidad (IRI m/km)	Daños Superficiales %	Módulo Resiliente (kg/cm²)	Número Estructural Efectivo
40+000	42+000	4.65*10 ⁶	2.2	20 -30	650	2.1
42+000	43+000		2	5 - 10	1200	2.1
43+000	44+000		3	2 - 5	500	1.9
44+000	45+000		3.2	1 - 2	800	1.75
45+000	47+000		2.2	1 - 2	1200	1.6
47+000	49+000		2.5	2 - 5	900	1.6
49+000	50+000		2.8	5 - 10	900	1.6
50+000	51+400		3.1	20 -30	900	1.4
51+400	52+000		3.1	30 - 40	900	2
52+000	53+000		2.3	5 - 10	1200	1.7
53+000	54+000		3.3	20 -30	1000	1.7
54+000	55+000		3.2	1 - 2	1000	1.6
55+000	58+200		2.2 - 3.3	20 -30	1000	1.8
58+200	59+500		4.5	10 - 20	600	1.3
59+500	60+400		3.2	2 - 5	1000	2
60+400	63+000		8	100%	800	1.4

La forma en que se presentan los datos es una forma adecuada de manejar la información que servirá como insumo para los siguientes pasos.

7.5 DISEÑO DE LA REHABILITACION PROPUESTO

Para el diseño de la rehabilitación, se utilizó la metodología AASHTO y se hizo una verificación racional al criterio de fatiga en la carpeta por medio del método Finn (Software utilizado por el diseñador).

A continuación se enlista el procedimiento que se describió en el capítulo 4 para determinar el espesor de la nueva carpeta y hacemos una comparación con la metodología que utilizó la empresa que diseñó los espesores y comprobar que efectivamente se cumplió o no con los requisitos mínimos.

2. Datos del pavimento existente:

- Espesores de **500 – 700 mm**
- Base : **material granular de 150 a 250 mm** de espesor
- Tipo de material: **Grava arenosa No Triturada**
- Módulo Resiliente según la tabla N° 7.1 oscilando entre 500 – 1200 kg/cm²

3. Observación del estado del pavimento existente

- Se estableció los daños superficiales del pavimento estableciendo los porcentajes de piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y bacheo

- Se obtuvo los valores promedio del Ahuellamiento, los cuales fueron representados en las gráficas que se mostraron anteriormente (gráfica N° 7.3).

4. Ensayos de Deflexión :

Efectivamente, se tomaron datos de deflexión los que fueron representados y evaluados a través de una gráfica resumen (grafica N° 7.1) evaluando las condiciones presentes del pavimento.

5. Datos de Geotecnia:

Determinaron la distribución granulométrica del material presente, se clasificó el suelo como se mencionó en el numeral 2, además se encontraron los espesores (gráfica N° 7.4), CBR%, la plasticidad del suelo, etc.

Espesores encontrados

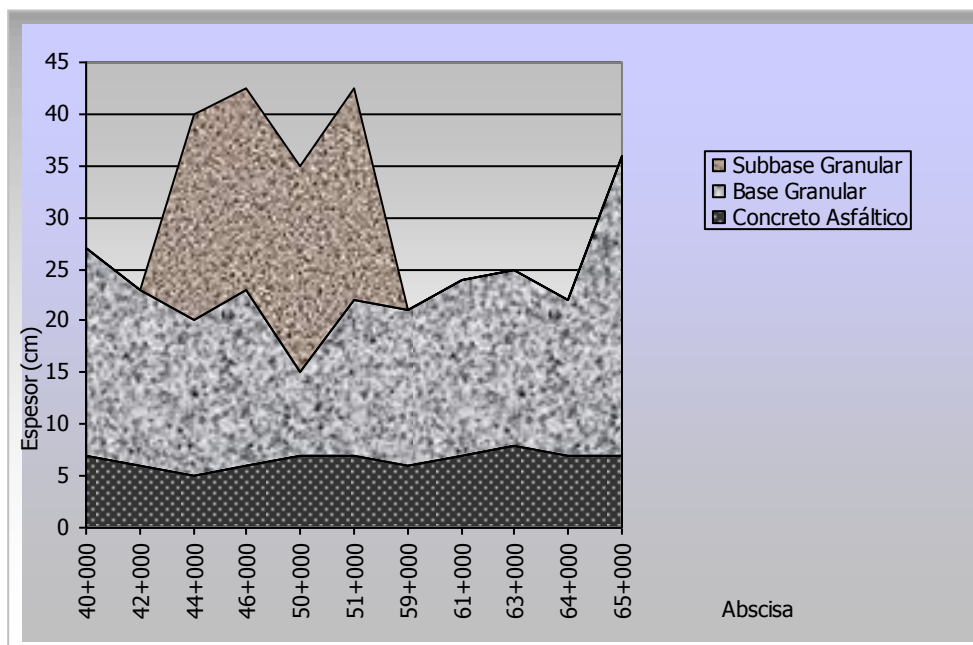


Gráfico N° 7.4

Espesores encontrados

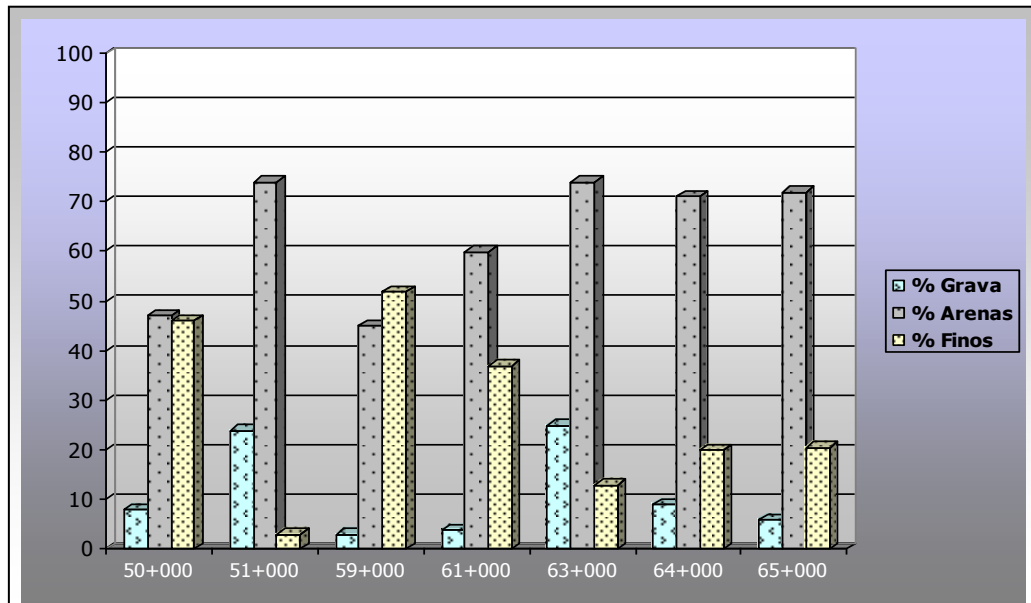


Gráfico N° 7.5 Distribución Granulométrica del material de la Subrasante

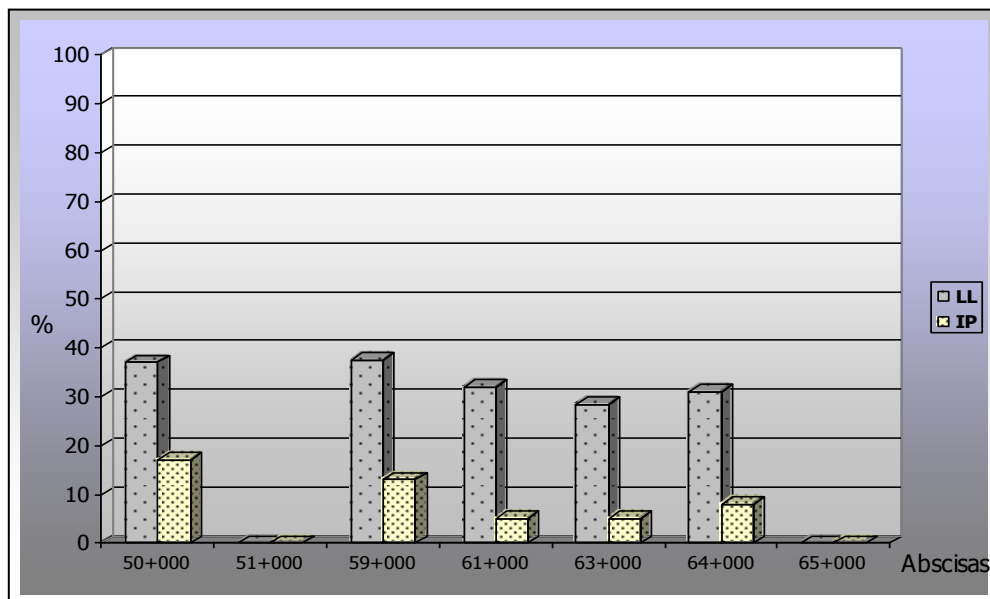


Gráfico N° 7.6 Características Físicas del Material de la Subrasante

6. Determinación del número estructural requerido para el tránsito futuro

- 5.5** El Módulo Resiliente Efectivo de la subrasante fue determinado a partir de las medidas de deflexión según se explico en sección 7.3.2
- 5.6** Perdida de Serviciabilidad de diseño (Δ PSI), para este ítem, consideraron un valor de PSI inicial de 4.2 y PSI final de 2.5. Estos datos son congruentes con los presentados en la tabla N° 4.14 ya que la vía fue considerada como muy importante.
- 5.7** Confiabilidad del refuerzo (R), este dato fue de 85%, es decir para vías interurbanas con tráfico de mediano a alto.
- 5.8** Desvío estándar para el pavimento flexible (S_0), fue de 0.49 para pavimento flexible.

Luego todos estos datos se introdujeron a la fórmula básica de diseño de espesores, que fue detallada en el capítulo 4, sección 4.4.1, con la cual se obtuvo el SNrequerido para el tránsito futuro. Se comprobó que luego de despejar, la fórmula el valor de SN necesario a futuro es de 10 años aproximadamente.

7. Determinación del Número estructural efectivo S_{Nef} del pavimento existente, por medio de Observación visual y ensayos de materiales

Se utilizó la ecuación 9, propuesta en capítulo 4 sección 4.4.1 de este documento

$$S_{Nef} = a_1 D_1 + a_2 D_2 M_2 + a_3 D_3 M_3$$

La empresa diseñadora empleo el criterio plasmado en la siguiente tabla (ver tabla N° 7.5) para determinar los coeficientes de capa.

Tabla N° 7.5 Capa	Coefficiente de capa	Característica
Asfalto	$a_1 = 0.35 - 0.40$	Concreto asfáltico nuevo
	$a_1 = 0.14^*$	Superficies dañadas
Base granular	$a_2 = 0.14$	CBR=100%,
	$a_2 = 0.13$	CBR = 80%
	$a_2 = 0.095$	CBR= 30%
Subbase	$a_3 = 0.11$	CBR=30%
	$a_3 = 0 - 0.10$	Materiales contaminados

*Se enmarcan los valores que se utilizaron para ser incluidos a la fórmula .

Los coeficientes de drenaje (m_1 y m_2) existentes se evaluaron principalmente según el grado de contaminación de la capa granular lo que permite o limita el drenaje de la misma (se observó también la humedad natural), por lo cual se adoptó acertadamente, en general, los siguientes valores (ver tabla N° 7.6):

Tabla N° 7.6 Coeficientes de drenaje	Calificación del drenaje	Condición
$m_i = 1.0$	Bueno	Pasa #200 < 10%
$m_i = 0.8 - 1.0$	Regular	Pasa #200 < 10% - 15%
$m_i = 0.6 - 0.8$	Malo	Pasa #200 > 15%

- Para el aporte estructural del concreto asfáltico, se adoptó un valor de 0.40 por pulgada.
- En varios sectores de la vía se propuso un tratamiento de fresado previo a la colocación del refuerzo. Este fresado se proyectó con el fin de obtener una superficie homogénea, disminuyendo el grado de fisuración y bacheo del sector y buscando la total adherencia entre la capa existente y el refuerzo propuesto.
- El espesor de fresado en frío se proyectó en una profundidad variable entre 1 y 3 cm dependiendo del daño superficial que presenta la carpeta. En los tramos donde se observó gran cantidad de daños superficiales, se recomienda fresar 3cm, mientras que en los que se presentan daños aislados, parches, etc, se recomienda fresar 1 cm.

También creemos que pudo optarse por hacer trabajos de bacheo y poder proporcionar una superficie también homogénea, con buena adherencia con la nueva carpeta, en las zonas en que los daños superficiales no eran tan profundos es decir donde se fresó 1 cm.

En resumen la empresa que diseñó los espesores de carpeta, realizó todos sus procesos en forma similar a los que hemos propuesto; éstos pasos los hemos considerado como mínimos para abarcar de buena forma los diferentes aspectos que pueden tener fuerte incidencia en la calidad final de la carpeta compactada. A partir de la metodología expuesta anteriormente, siguiendo dichas etapas, se procedió a diseñar la rehabilitación como se presenta en las tablas a continuación para un período de 10 años (ver tabla N° 7.7). Se presenta las secciones de trabajo de rehabilitación acopladas, en el cuadro resumen que se ve a continuación:

Tabla N° 7.7 DISEÑO DE REHABILITACIÓN PROPUESTO									
SECCIÓN		PARÁMETROS							
Km Inicio Km Final	Tránsito (ESAL 8.2 T)	MR (kg/cm ²)	SN Efectivo (FWD)	SN Requerido 10 años	Δ SN	Espesor de concreto asfáltico por Δ SN (mm)	Espesor de base reciclada con cemento* (mm)	Espesor de concreto con base cementada (m)	Espesor de concreto asfáltico recomen- dado
40+000 42+000	4.65*10 ⁶	650	2.1	4.1	1.91	1.21	150	54	70
42+000 43+000		1200	2.1	3.18	1.08	69	150	1	70
43+000 44+000		500	1.9	4.41	2.51	159	150	92	90
44+000 45+000		800	1.75	3.71	1.96	124	150	57	70
45+000 47+000		1200	1.6	3.18	1.58	100	150	33	70
47+000 49+000		900	1.6	3.55	1.95	124	150	56	70
49+000 50+000		900	1.6	3.55	1.95	124	150	56	70
50+000 51+400		900	1.4	3.55	2.15	137	150	69	70
51+400 52+000		900	2.0	3.55	1.55	98	150	31	70
52+000 53+000		1200	1.7	3.18	1.48	94	150	26	70
53+000 54+000		1000	1.7	3.41	1.71	109	150	41	70
54+000 55+000		1000	1.6	3.41	1.81	115	150	47	70
55+000 58+200		1000	1.8	3.41	1.61	102	150	35	70
58+200 59+500		600	1.3	4.13	2.83	180	150	112	120
59+500 60+400		1000	2.0	3.41	1.41	90	150	22	70
60+400 63+000		800	1.4	3.71	2.31	147	150	79	80

*El reciclado involucra la capa asfáltica existente, del orden de 70 mm y 80 mm de material granular, para obtener un total de 150 mm de espesor de material reciclado con cemento.

El seccionamiento homogéneo que se realizó es aceptable ya que se representa adecuadamente las condiciones reales por tramos.

Hasta esta etapa se tiene un trabajo satisfactorio y eficiente de la etapa de diseño, que como se ha descrito en este trabajo, es un factor importantísimo para la elección de un buen desempeño de la nueva carpeta.

De toda la información anteriormente descrita concluimos que efectivamente la empresa que realizó el diseño de los espesores y toda la investigación previa de las condiciones actuales del pavimento, realizó eficientemente todos los pasos que están plasmados en este trabajo, hasta la etapa de diseño, se comprueba que se han seguido todos los requerimientos básicos para analizar, diagnosticar y proponer el diseño de refuerzo a una vía que necesita una colocación de Trabajo de Rehabilitación por medio de un Recarpeteo con Mezcla Asfáltica en Caliente. La única incongruencia detectada fue la explicada en la sección 7.3.2 con respecto al módulo resiliente en donde los valores de M_R obtenidos del Km 44 al 58 (ver tabla N° 7.1), no tienen una correlación lógica con los valores de deflexión central para ese mismo tramo (ver gráfica N° 7.1).

7.6 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL DISEÑO

7.6.1 DISEÑO DE LA MEZCLA

Para facilitar el estudio de esta sección, a continuación se presentará un análisis sobre la información proporcionada, en tablas resúmenes elaboradas a partir de los datos del proyecto, y las especificaciones técnicas utilizadas.

7.6.2 AGREGADOS

La mezcla teórica para establecer la fórmula de trabajo, se propuso entre las barreras dadas en las especificaciones del proyecto, que para éste caso fue una Mezcla Asfáltica de graduación "B" según tabla 703-8, capítulo: "Especificaciones para la Construcción" de la SIECA como se muestra en la tabla N° 7.8:

Tabla N° 7.8 TAMAÑO	PROPUESTA (%) (PARA LA FORMULA DE TRABAJO)	BARRERAS (%) (ESPECIFICACIONES DE LA S.I.E.C.A)
1"	100	100
¾"	99.8	97-100
½"	82.6	76-88 (±5)
N° 4	57.9	49-59 (±7)
N° 8	43.4	36-45 (±5)
N° 30	22.1	20-28 (±4)
N° 50	14.5	13-21 (±3)
N° 200	5.6	3-7 (±2)

Para el proyecto en cuestión se utilizaron las fuentes de agregado de la pedrera "La Cantera" y la pedrera "La Hulera", esto debido a las variaciones granulométricas del material de chispa de la pedrera "La Cantera", lo cual fue observado durante el proceso de verificación de la fórmula de trabajo en planta, donde se reflejo falta de finos en la malla N° 30 y N° 50, esto significa que no se garantizó un volumen apropiado de suministro de material fino, para la producción continua de la mezcla asfáltica.

El proporcionamiento del agregado se realizo según la tabla N° 7.9:

MALLA	AGREGADO A (<i>grava</i> "La Cantera")		AGREGADO B (<i>chispa</i> "La Cantera")		AGREGADO C (<i>chispa</i> "La Hulera")	
	TOTAL %	35.0%	TOTAL %	50.0%	TOTAL %	15.0%
1"	100	35	100	50	100	15
¾"	99.5	34.8	100	50	100	15
½"	50.3	17.6	100	50	100	15
Nº 4	5.9	2.1	82	41	98.6	14.8
Nº 8	2.4	0.8	61.8	30.9	77.9	11.7
Nº 30	1.3	0.5	27.4	13.7	52.7	7.9
Nº 50	1.2	0.4	19.5	9.8	28.9	4.3
Nº 200	0.5	0.2	7.2	3.6	11.9	1.8

Comparando entonces la fórmula de trabajo propuesta y las barreras definidas en las especificaciones (ver tabla 703-8 de la SIECA) vemos que la fórmula de trabajo lograda con el proporcionamiento propuesto **cumple con las especificaciones.**

Con respecto a las demás especificaciones para los agregados, a continuación presentamos la tabla N° 7.10 con el resumen de los datos que compara los resultados obtenidos del proyecto con los valores dados en las especificaciones.

ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS		RESULTADOS PRESENTADOS EN DISEÑO		ACEPTACIÓN
AGREGADO GRUESO		AGREGADO GRUESO		
Desgaste, %máx.	40.0	Desgaste, %	26.9	SI
Sanidad, %máx.	12.0	Sanidad, %	2.8	SI
Caras Fracturadas, %min.	75.0	Caras fract., %	100	SI
Durabilidad, %min.	35.0	Durabilidad, %	98.5	SI
AGREGADO FINO		AGREGADO FINO		
Durabilidad, %min.	40.0	Durabilidad, % min	73.0	SI
Equiv. de arena, %min.	45.0	Equiv. de arena, % min.	76.0	SI

7.6.3 CEMENTO ASFÁLTICO

El cemento asfáltico utilizado fue tipo AC-30 de procedencia Venezolana, que según ensayo de viscosidad y el certificado de calidad del proveedor, tiene mejor comportamiento a las altas temperaturas que será sometido en su vida útil.

7.6.4 MEZCLA ASFÁLTICA

La mezcla asfáltica se realizó con el proporcionamiento de agregados y cemento asfáltico ya mencionados. Las especificaciones del proyecto para mezcla asfáltica fueron según tablas 401-1 literal a) y 401-2 del capítulo: "Especificaciones para la Construcción" de la S.I.E.C.A

Se hicieron 3 briquetas para cada contenido de asfalto, los cuales fueron al 4.5, 5.0, 5.5, y 6.0 %. A continuación se revisan los resultados obtenidos a partir de la tabla N° 7.11:

Tabla N° 7.11 REVISIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA CADA CONTENIDO DE ASFALTO					
ASFALTO, %	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
% AGREGADOS	95.5	95.0	94.5	94.0	93.5
Gsb de agregados	2.503	2.503	2.503	2.503	2.503
Gmb (briquetas)	2.211	2.258	2.274	2.278	2.284
Gse (agregados)	2.508	2.547	2.577	2.609	2.588
Densidad Bulk, Kg/m ³	2211	2258	2274	2278	2284
Gmm (Teórica máx. Mezcla)	2.356	2.373	2.381	2.390	2.357
Asfalto Absorbido, Pba	0.075	0.716	1.185	1.677	1.354
ESTABILIDAD, Kg	1350	1524	1532	1517	1625
FLUJO, mm	2.879	2.625	2.455	2.875	2.879
Vacios de Aire, %	6.15	4.85	4.49	4.69	3.10
VMA, %	15.6	14.3	14.1	14.4	14.7
VFA, %	60.7	66.1	68.2	67.6	78.9

Aclaremos que el porcentaje de asfalto del 6.5% fue calculado por extrapolación de los gráficos.

El diseño de mezcla seleccionado para el proyecto fue del **5.5%**, el cual al ser comparado con las especificaciones de mezcla para el proyecto, cumple como se ilustra en la tabla N° 7.12 (también ver tabla 401-1 de la SIECA).

Tabla N° 7.12 SIECA	PA = 5.5%	ACEPTACIÓN
Estabilidad Mínima = 816 Kg	1530	SI
Flujo, mm= 2 a 4	2.4	SI
% Vacío = 3 a 5	4.85	SI
VMA (% min.) = 14%	14.1	SI
VFA = no especificado	68.2	SI

7.6.5 TEMPERATURA DE FABRICACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

De acuerdo a la carta de viscosidad del asfalto (ver tabla N° 7.13), se establece el rango de temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica entre 140 °C y 150 °C, temperaturas a las cuales el cemento asfáltico tiene una viscosidad cinemática entre 150 y 190 centistokes, no excediendo la temperatura del cemento asfáltico de 270 °C.

El rango de temperatura para la compactación de la mezcla asfáltica está comprendido entre 120°C y 130°C, temperaturas a las cuales el cemento asfáltico tiene una viscosidad cinemática entre 250 y 310 centistokes. Sin embargo la especificación del proyecto permite colocar y compactar la mezcla asfáltica hasta un mínimo de 107 °C, lo cual en la práctica se aprovechó para darle mayor tiempo al proceso de compactación, donde se consideró oportuno.

Tabla N° 7.13

CURVA DE VISCOSIDAD – TEMPERATURA DEL LIGANTE BITUMINOSO

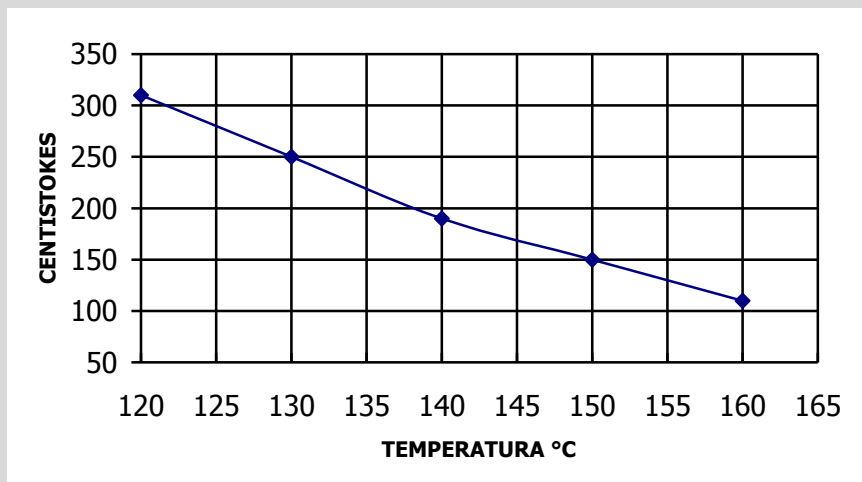
PROYECTO:
UBICACIÓN:
CEMENTANTE:
FECHA:

Temperatura	Norma	Centistoke*	Promedio	Temperatura	Norma
120°C	ASTM D-88	310			
130°C		250			
140°C		190			
150°C		150			
160°C		110			

Continua

Continuación de tabla N° 7.13

CURVA DE VISCOSIDAD



El tramo de prueba se ubicó entre las estaciones 40+000 a la 40+300, en el sentido del cadenamiento del proyecto.

Para este tramo se utilizó el siguiente equipo:

- Pavimentadora CAT AP-1055
- Rodo Vibratorio CB-434
- Compactador Neumático PS-180
- Barredora mecánica Broce Brown
- Camión distribuidor de asfalto Etnyre.
- 6 camiones de volteo

Se hicieron dos pruebas de ciclos de compactación a puntos fijos con vibraciones de alta y baja frecuencia (ver tablas N° 7.14 y 7.15). Se determinó que el ciclo óptimo es de *una pasada sin vibrar del rodo liso, luego tres pasadas*

del rodo liso con vibración de baja frecuencia y dos pasadas del compactador neumático.

En este caso, ya que la norma recomienda un valor entre 92 y 98 % de la densidad máxima teórica, el contratista buscó el valor promedio, por lo que trató de llegar a un valor de 95% que se ubica en el centro de dicha banda (ver tabla N° 7.14). Por lo general, no se recomienda que quede sobre-compactado (como en el caso de la tabla N° 7.15) porque la mezcla pierde flexibilidad.

Tabla N° 7.14

CONTROL DE DENSIDADES DE CAMPO
Vibración baja. Mezclas Asfálticas

Técnico que realizó la medición:
Actividad: Colocación de Mezcla Asfáltica
Densidad Máxima Teórica: 2.410
Supervisor:
Estación: 40+000 - 40+300
Material: Mezcla Asfáltica
Equipo: Densímetro Nuclear

No.	fecha	Estación	Densidad Máxima Teórica (g/cc) (1)	Densidad Medida (g/cc) (2)	T compactación (°C)	% Compactación (2/1 %)	Observaciones
1		40+050	2.410	2.117	130	87.8	planchada
2		40+050	2.410	2.227	130	91.4	1º pasada vibración baja
3		40+050	2.410	2.259	125	92.7	2º pasada vibración baja
4		40+050	2.410	2.309	125	94.8	3º pasada vibración baja
5		40+050	2.410	2.309	120	95.2	4º pasada con neumática

Tabla N° 7.15

**CONTROL DE DENSIDADES DE CAMPO
Vibración alta - Mezclas Asfálticas**

Técnico que realizó la medición:
 Actividad: Colocación de Mezcla Asfáltica
 Densidad Máxima Teórica: 2.410
 Supervisor:
 Estación: 40+000 - 40+300
 Material: Mezcla Asfáltica
 Equipo: Densímetro Nuclear

No	Fecha	Estación	Densidad Máxima Teórica (g/cc) (1)	Densidad Medida (g/cc) (2)	T compactación (°C)	% Compactación (2/1 %)	Observaciones
1		40+150	2.410	2.082	130	86.4%	1 planchada
2		40+150	2.410	2.206	130	91.5%	1º pasada vibración baja
3		40+150	2.410	2.256	130	93.6%	2º pasada vibración alta
4		40+150	2.410	2.288	125	94.9%	3º pasada vibración alta
5		40+150	2.410	2.359	125	97.9%	4º pasada vibración alta
6		40+150	2.410	2.324	125	96.4%	5º pasada vibración alta
7		40+150	2.410	2.398	120	98.0%	6º pasada con neumática

7.6.6 TEMPERATURA DE COLOCACIÓN EN CAMPO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

El contratista para este documento, proporcionó la siguiente información sobre el control de colocación realizado en campo (tabla N° 7.16), el cual corresponde a un tramo de 107 metros, por lo que se asume que son valores típicos que

representan el mismo comportamiento en toda la longitud del proyecto. Ya que los valores de la tabla N° 7.16 cumplen con los rangos de temperatura de fabricación, colocación y compactación exigidos por las especificaciones (ver sección 7.3.5), se puede concluir que se llevo un buen control de campo en la colocación de la mezcla.

Tabla. 7.16

CONTROL DE FABRICACIÓN, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO:

RUTA:

FECHA DE COLOCACIÓN:

NÚMERO DE PASADAS CON RODO LISO: 1

NÚMERO DE PASADAS CON RODO LISO+VIBRACIÓN : 3

NÚMERO DE PASADAS CON NEUMÁTICA: 2

NÚMERO DE CAMIONES: 6

INSPECTOR:

Ubicación	Nº del Equipo	T colocadas	Hora salida de planta	Hora llegada al proyecto	Hora inicio descarga	Hora final descarga	Temp Planta, °C	Temp Colocación, °C	Temperatura Compactación, °C
40+600	CV-02	8	8:00am	8:30am	8:34am	8:45am	150	135	130
40+620	CV-06	7.9	8:10am	9:40am	8:46am	9:00am	150	134	130
40+639	CV-01	7.8	8:20am	8:57am	9:02am	9:15am	148	130	128
40+658	CV-06	7.9	8:40am	9:08am	9:16am	9:26am	149	135	130
40+678	CV-04	8	10:04am	10:30am	9:27am	9:45am	150	136	129
40+687	CV-01	7.9	10:30am	10:25am	9:46am	10:00am	149	132	128
40+707	CV-06	8	9:35am	10:00am	10:02am	10:15am	149	133	129

OBSERVACIONES

7.6.7 REVISIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA POR MEDIO DEL MÉTODO MARSHALL.

Se tomaron 2 núcleos cada 600 m de estación, cubriendo así las 500 T de mezcla asfáltica colocada, esto concuerda con las normas (ver tabla 401-7, de las "Especificaciones Para la Construcción" de la SIECA), sin embargo para este documento el contratista proporcionó un resumen de resultados a cada 600 m, partiendo de la estación 40+600 hasta la 43+000. Por esta razón, como en el caso de la sección 7.3.6, se tomó que los valores presentados en las tablas N° 7.17 y N° 7.18 son valores típicos que representan el comportamiento del pavimento, en toda la longitud del proyecto.

De la tabla N° 7.11 se puede verificar que los valores obtenidos de los núcleos extraídos, obedecen al diseño propuesto y por lo tanto cumplen con las especificaciones del proyecto (comparar con tabla N° 7.12).

Tabla N° 7.17					
REVISIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA LOS NÚCLEOS DE MUESTREO					
Estación	40+600	41+200	41+800	42+400	43+000
Cantidad de Núcleos	2	2	2	2	2
Espesor de pavimento (mm)	71	70	69	68	70
	VALORES PROMEDIO				
ASFALTO, %	5.5	5.6	5.5	5.4	5.3
% AGREGADOS	94.6	94.2	94.1	94.4	94.5
Gsb de agregados	2.500	2.503	2.502	2.506	2.501
Gmb (briquetas)	2.284	2.277	2.271	2.281	2.280
Gse (agregados)	2.575	2.577	2.573	2.580	2.576
Densidad Bulk, Kg/m ³	2.275	2.272	2.278	2.274	2.271
Gmm (Teórica máx. Mezcla)	2.384	2.381	2.380	2.385	2.383
Asfalto Absorbido, Pba	1.187	1.184	1.182	1.186	1.185

Continua

Tabla N° 7.17

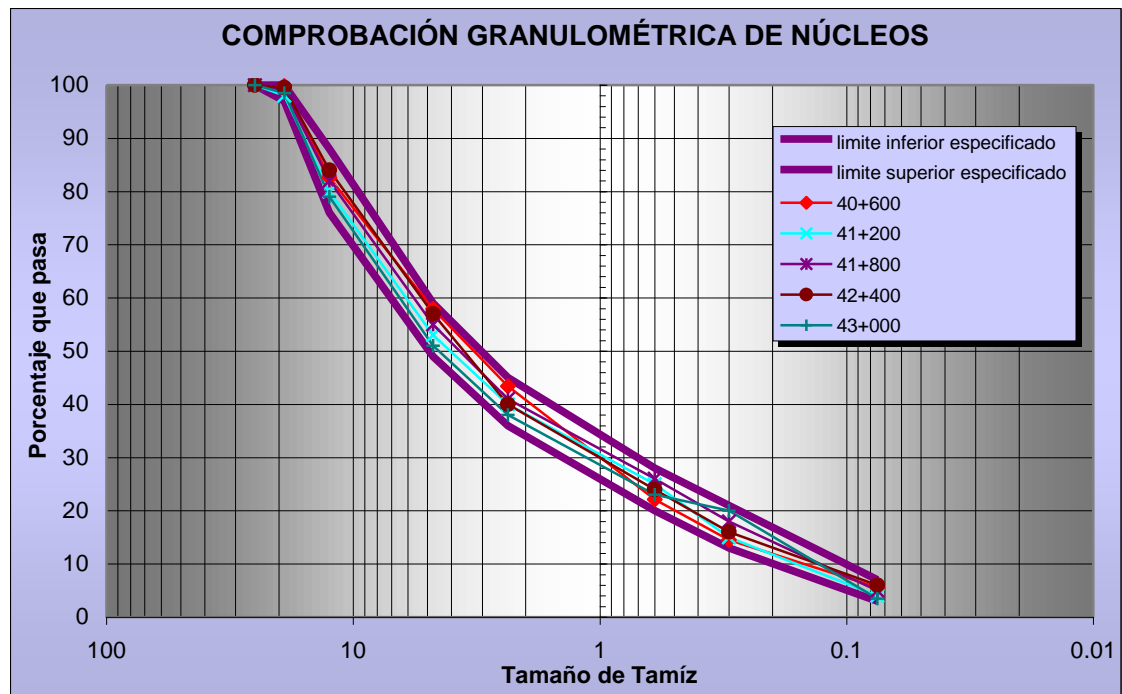
**REVISIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA
PARA LOS NÚCLEOS DE MUESTREO**

Estación	40+600	41+200	41+800	42+400	43+000
ESTABILIDAD, Kg	1532	1536	1530	1535	1539
FLUJO, mm	2.458	2.450	2.455	2.459	2.457
Vacíos de Aire, %	4.49	4.51	4.47	4.45	4.52
VMA, %	14.1	14.6	14.3	14.0	14.2
VFA, %	68.7	68.2	67.8	68.0	68.5

Tabla N° 7.18

REVISIÓN GRANULOMÉTRICA PARA LOS NÚCLEOS DE MUESTREO

MALLA		PORCENTAJE QUE PASA					RANGO DE VALORES DE ESPECIFICACIÓN	
Pulg.	mm	PUNTO DE MUESTREO						
		40+600	41+200	41+800	42+400	43+000		
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100
3/4"	19.000	99.8	98.0	99.0	99.5	98.5	97	100
1/2"	12.500	82.6	80.0	82.0	84.0	74.0	76	88
Nº.4	4.750	57.9	53.0	55.0	57.0	51.0	49	59
Nº.8	2.360	43.4	40.0	41.0	40.0	38.0	36	45
Nº.30	0.600	22.1	25.0	26.0	24.0	23.0	20	28
Nº.50	0.300	14.5	15.0	18.0	16.0	20.0	13	21
Nº.200	0.075	5.6	4.0	5.0	6.0	3.5	3	7



- Para la sección 7.6.1 de este capítulo, finalmente puede concluirse que el contratista proporcionó información completa sobre el diseño de la mezcla (ensayos y especificaciones), sin embargo no autorizo el uso de ellas para anexar en este documento, por lo que la información se agregó como tablas resúmenes, donde se refleja que el diseño de la mezcla cumple con las especificaciones del proyecto.
- Sobre las secciones 7.6.5 a la 7.6.7, la información proporcionada fue muy escasa, ya que sólo fueron hojas de control sobre colocación de mezcla asfáltica y extracción de núcleos en determinados tramos del proyecto (ver tablas N° 7.13 - 7.18), lo cual sólo permite asumir

globalmente sobre el proceso constructivo y el comportamiento de toda la longitud del proyecto.

- Para la sección 7.6, en general se comprobó por medio de los resultados mostrados que se cumplieron los requisitos que las normas y especificaciones del proyecto, proponían. También se llevo de manera adecuada los registros de control de calidad y los muestreos realizados a la mezcla colocada reflejan buenos resultados.

CAPÍTULO VIII
**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Las pruebas de laboratorio que rigen la calidad de los agregados a utilizar en recarpeteos con mezclas asfálticas en caliente son: Granulometría, desgaste, sanidad, equivalente de arena, cubicidad de las partículas, gravedad específica y peso unitario (descritas en tabla N° 2.1). Asimismo puede determinarse la calidad de los agregados ensayados a través de los valores mínimos y máximos descritos en tabla N° 2.2.
2. El control que debe registrarse para el cemento asfáltico comienza desde la producción en planta hasta el momento de mezclado con los agregados, para lo cual debe satisfacer las siguientes pruebas de laboratorio: peso específico, viscosidad, penetración, punto de inflamación, pérdida por calentamiento, ensayo de flotación, endurecimiento, punto de reblandecimiento, solubilidad y ductilidad. Las normas que las rigen se presentan en tabla N° 2.1. Los rangos permitidos se encuentran en las tablas N° 2.3, 2.4 y 2.5.
3. El certificado de calidad proporcionado por el proveedor del cemento asfáltico, es el dato más importante para conocer las propiedades del asfalto y debe contener al menos la información que se presenta en la tabla N° 5.10 del capítulo V.

4. El método de diseño utilizado en nuestro país para las mezclas asfálticas en caliente es Marshall, el cual evalúa los parámetros de estabilidad, fluencia, relación de vacíos y densidad así como la relación entre ellos. Para determinar que el comportamiento de la mezcla cumple con el método, debe evaluarse con base en los rangos de valores descritos en la tabla N° 3.4.
5. Debe cuidarse especialmente los valores que representan la relación de Vacíos porque valores menores del 3% tienden a producir mezclas con inestabilidad y exudación, valores mayores del 5% nos encontraremos con mezclas permeables al aire y agua, propensas a sufrir envejecimiento prematuro y acelerada desintegración por oxidación prematura.
6. La aplicación del Método Marshall es para agregados con tamaños máximos de 1"; el método Marshall Modificado solo puede aplicarse para tamaños de partícula arriba de 1.5".
7. A partir de las investigaciones mostradas en este documento, concluimos que a pesar que el método Marshall se utiliza para diseñar las mezclas, ya es tiempo que se hagan los esfuerzos necesarios para aplicar el método SUPERPAVE debido a que ha sido desarrollado para que proporcione resultados más reales de la capacidad de desempeño de la carpeta compactada en funcionamiento.

8. Para conocer las condiciones existentes del pavimento a recarpetear, se deben hacer los siguientes estudios:
 - Análisis de las Condiciones Estructurales a través de: diferentes formas de carga para determinar las deflexiones, estudios geotécnicos (CBR, SN, M_R , etc.)
 - Análisis de las Condiciones Funcionales: IRI, Ahuellamiento, Serviciabilidad e Inspecciones Visuales
9. Se observó que las empresas que se consultaron están utilizando formatos de registros para el control de calidad, similares a los que se han propuesto en el capítulo 5. Sin embargo es necesario señalar que no basta solo la recolección de información durante el proceso constructivo; mas bien, debe hacerse hincapié en la necesidad de aplicar eficientemente el sistema de control de calidad, ya que las observaciones oportunas en base a la información de control, podrá influir grandemente en el logro de un recarpeteo con la calidad contratada.
10. Un parámetro sumamente importante es la temperatura. Es vital llevar un registro de la misma, en cada fase del proceso de Recarpeteo, es decir, en su fabricación, mezclado en la planta, salida de la planta, llegada al sitio, inicio de descarga, compactación y apertura al tráfico. Debido a esto se debe atender los rangos mencionados en la tabla N° 6.14. Tomando en cuenta que cualquier variación fuera de lo especificado,

para este parámetro influirá en la calidad de la mezcla, deberá notificarse en forma inmediata y oportuna, a fin de identificar y resolver los problemas puntuales en los que la falta de cumplimiento ha tenido influencia en la calidad.

11. Respecto al capítulo 7, se puede concluir que la ejecución de todas y cada una de las fases descritas en el capítulo IV, son necesarias inicialmente para realizar un diagnóstico real de las condiciones actuales del pavimento a recarpetear y posteriormente para poder establecer la técnica de intervención más apropiada a las necesidades del proyecto. En el caso presentado, solo se detectó una incongruencia, la que fue explicada en la sección 7.3.2 respecto al módulo resiliente, en donde los valores de M_R obtenidos del Km 44 al km 58, no tienen una correlación lógica con los valores de deflexión central para ese mismo tramo (ver gráfica N° 7.1). El módulo resiliente debería haber arrojado valores más bajos, debido a los valores altos de deflexión comprendidos entre el Km 48 y el Km 52 por lo que se recomienda que durante el procesamiento de toda la información, se tomen las precauciones necesarias para evitar que tales incongruencias pongan en duda todo el proceso de evaluación y diagnóstico de las condiciones actuales del pavimento.

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO I, II MATERIALES

1. Después que el diseño de la mezcla ha sido aprobado, se recomienda hacer efectivo el Control de Calidad, en lo relativo a la granulometría de la mezcla propuesta en el diseño de la misma. De similar manera, esto debe ser extensivo a todos y cada uno de los parámetros que es necesario cumplir para el logro de la calidad especificada (ejemplos: estabilidad, flujo, VMA, VFA, etc.) respetar toda la composición granulométrica de los agregados, conservando los tamaños y proporciones recomendados en el diseño.
2. Es necesario que el Aseguramiento de la Calidad sea eficiente a fin de darle seguimiento a las actividades diarias del contratista, ya que esto asegurará que cualquier cambio en la fuente de materiales, no tenga impacto negativo en la calidad de la mezcla producida.
3. Se recuerda que es necesario recomendar que la mezcla que se aplique depende de las necesidades propias del proyecto, es decir, del tipo de tráfico al que estará sujeta la carpeta, así como a las condiciones de drenaje que se necesite. Además, que se comporta adecuadamente, cumpliendo todos los requisitos de estabilidad – fluencia, densidad – relación de vacíos y que resulte económicamente ventajosa.

4. Debe evitarse el utilizar agregados fuera de las especificaciones, ya que solo así se garantizará la producción de una mezcla asfáltica con la calidad especificada.
5. Respecto a la propiedad de la Afinidad con el Asfalto del agregado (ver sección 2.3.2.8), existe un ensayo de laboratorio desarrollado para medirla (Cubrimiento con Asfalto mediante el Método Inglés de Materiales Pétreos), sin embargo esta propiedad y ensayo, no están incluidos en ningún documento de la SIECA como especificación. Si esta y otras propiedades no incluidas por la SIECA. se exigieran como especificaciones, podría tenerse un control más refinado sobre la calidad de los agregados. Por lo expuesto anteriormente es que esta investigación recomienda la implementación de estos parámetros, o al menos la realización de un estudio sobre ellos, que decida sobre cuales sería conveniente implementar. Esto mismo sucede con parámetros como el Módulo de Rigidez, que algunos ingenieros utilizan, el cual mide el grado de rigidez que la mezcla asfáltica presenta, lo cual ayuda a tener más criterio en el diseño de ellas.

CAPÍTULO III DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

6. El método de diseño de mezclas asfálticas SUPERPAVE, fue desarrollado con la intención de sustituir los métodos de diseño desarrollados previamente (Marshall, Hveem, y otros), pues para muchos ingenieros estos presentaban serias limitantes conceptuales, y por lo tanto sus ensayos de laboratorio no simulaban fielmente el futuro desempeño de la mezcla asfáltica. Por esta razón la metodología SUPERPAVE ya fue incluida en las especificaciones para la construcción de la SIECA y por lo tanto, nuestra investigación recomienda en la medida de lo posible, su pronta implementación en nuestro país, pues hasta la fecha, el método Marshall ha sido el único utilizado en nuestro medio. Esta recomendación ahora es mas respaldada, ante el nuevo contexto del Tratado de Libre Comercio con los Estados Unidos de América, el cual es muy posible que entre en vigencia, entonces conviene que la industria de la construcción local, esté más preparada tecnológicamente ante tal cambio económico.
7. Para obtener la buena calidad de la mezcla asfáltica sugerimos realizar como mínimo, los ensayos de laboratorio listados en la tabla N° 2.1, los cuales deberán cumplir con la norma respectiva.

CAPÍTULO IV EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DEL PAVIMENTO EXISTENTE

8. El capítulo 4 es una propuesta general de cómo correlacionar distintos parámetros con el fin de evaluar y diseñar espesores de recarpeteo. Cabe aclarar que esto es un tema extenso que merece ser tema de investigación futuro, en el cual se podrían proponer combinaciones de metodologías existentes para resolución de casos específicos.
9. Merece una especial atención el daño provocado al pavimento por reparaciones de servicios públicos (el Catálogo de Daños de la SIECA lo incluye), pues generalmente el parchado efectuado, se hace con material de menor calidad al original y con una técnica constructiva de baja calidad; aunque este tipo de daños es de origen externo, generalmente propicia el desarrollo prematuro de otras fallas en su área de influencia, así como también afecta la funcionalidad. Por esta razón, debería de haber un estudio sobre las políticas interinstitucionales, para detectar vacíos legales u otras razones del porque se permite esta mala praxis.
10. Cuando se elige la metodología para conocer las condiciones estructurales del pavimento, se recomienda utilizar los métodos no destructivos como la viga benkelman o el deflectómetro de impacto, ya que estos proporcionan resultados más aproximados y tienen la ventaja que a partir de los sensores eléctricos que contienen, estos procesan los datos a una

computadora y proporciona gráficas representativas de las condiciones del pavimento y puede dar datos más aproximados y confiables.

11. Aunque hay empresas que realizan el diseño de Recarpeteos con la ayuda de software de computadoras con los cuales se facilita la recolección y el cálculo de ecuaciones, muchos todavía utilizan los métodos tradicionales y usan los nomogramas de diseño que proporciona el Road Test de la AASHTO, se recomienda revisar la metodología proporcionada por la Guía AASHTO.
12. Debe llevarse un control de información de todas las carreteras del país, en donde se registre la fecha de construcción, monitorear periódicamente las condiciones funcionales de las mismas, con la visión de no esperar el momento en el cual el deterioro de la vía sea grande o llegue a los límites máximos permitidos; cuando esto sucede, se originan desembolsos mayores en los trabajos de rehabilitación. Es mejor que las instituciones creen un plan en el cual cada cierto tiempo después de la apertura de la vía, se aplique tratamientos de sello, con el objetivo de aumentar por periodos controlados, el nivel de funcionamiento y de respuesta elástica de la carretera analizada. Posteriormente, realizar el trabajo de recarpeteo también a periodos estimados de 3 – 5 años después de la apertura de la carretera.

CAPÍTULO V PROCEDIMIENTO PARA LA APROBACIÓN DE REQUISITOS CONTRACTUALES.

13. En el enfoque dado al capítulo 5, se resumen aspectos básicos del autocontrol de calidad del contratista y de las funciones de la supervisión para asegurar la calidad. Sin embargo sería útil dedicar una nueva investigación sobre este tema, desde el punto de vista de la excelencia de la calidad, como certificar los procesos bajo estándares internacionales ISO, etc.
14. En la tabla N° 5.9 se proponen diversas actividades que deben ser aprobadas previamente al proceso de Recarpeteos con Mezclas Asfálticas en Caliente, que se anexan en el DARC de dicha proceso como parte del seguimiento del ente de control de calidad.

CAPÍTULO VI PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

15. El control minucioso de la temperatura es un factor esencial al trabajar con mezclas asfálticas en caliente. Como se describió en el capítulo 6, el encargado de laboratorio debe observar un exhaustivo control de la temperatura con la finalidad de evitar mezclas sobrecalentadas o endurecidas; en ambos casos es sumamente perjudicial. Por lo que en el capítulo 6 se hizo una recopilación de los rangos que deben registrarse y

aprobarse para poder dar continuidad a cada fase comprendida en el proceso de colocación de las mezclas.

16. Antes de iniciar todo proceso constructivo de pavimentación con Mezclas Asfálticas en Caliente, debe garantizarse los procedimientos, los equipos mínimos de colocación como de compactación, recurso humano, etc. Es por ello que recomendamos siempre hacer el ensayo en un tramo de prueba.

BIBLIOGRAFÍA

- CURSO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS METODO AASHTO – 97
Universidad Nacional de San Juan, Argentina
Agosto 2000
- VIAS DE COMUNICACIÓN. Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, puentes y Puertos.
Crespo Villalaz, Carlos Ing.
Tercera Edición
- PRINCIPIOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE. MS - 22
Asphalt Institute
- CARRETERAS CALLES Y AUTOPISTAS
Valle Rodas, Raúl Ing.
Quinta Edición
- FUNDAMENTOS TECNICOS EN LA ELABORACION DE PRESUPUESTOS EN REHABILITACION DE CARRETERAS
Tesis Universidad Politécnica de El Salvador
Flores Guevara Roberto Orlando
- PROPUESTA DE MANUAL PARA LA ASIGNATURA LABORATORIO DE PAVIMENTOS EN LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Tesis

Pineda Martínez José Tulio

- MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS, ALCANTARILLAS Y PUENTES
Secretaría de Integración Económica Centro Americana
1974
- EL ASFALTO EN EL MANTENIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS
Instituto del Asfalto
Serie de Manuales MS-16
1993
- MANUAL BÁSICO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS
Instituto del Asfalto
Serie de Manuales MS-19
1993
- SEMINARIO SOBRE TECNICAS MODERNAS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS
Asfaltos de Centroamerica, S.A.
1995
- MIX DESIGN METHODS FOR ASPHALT CONCRETE AND OTHER HOT-MIX TYPES
The Asphalt Institute
Manual Series N° 2 (MS-2)

1997

- ASPHALT COMPACTION MANUAL
Ingersoll-Rand
2001
- MANUAL CENTRO AMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS
Secretaría de Integración Económica Centro Americana
2000
- MANUAL CENTRO AMERICANO DE ESPECIFICACIONES PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUNTES REGIONALES
Secretaría de Integración Económica Centro Americana
2000
- ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y
PUENTES
Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura
Y Vivienda. Republica De Guatemala.
2000