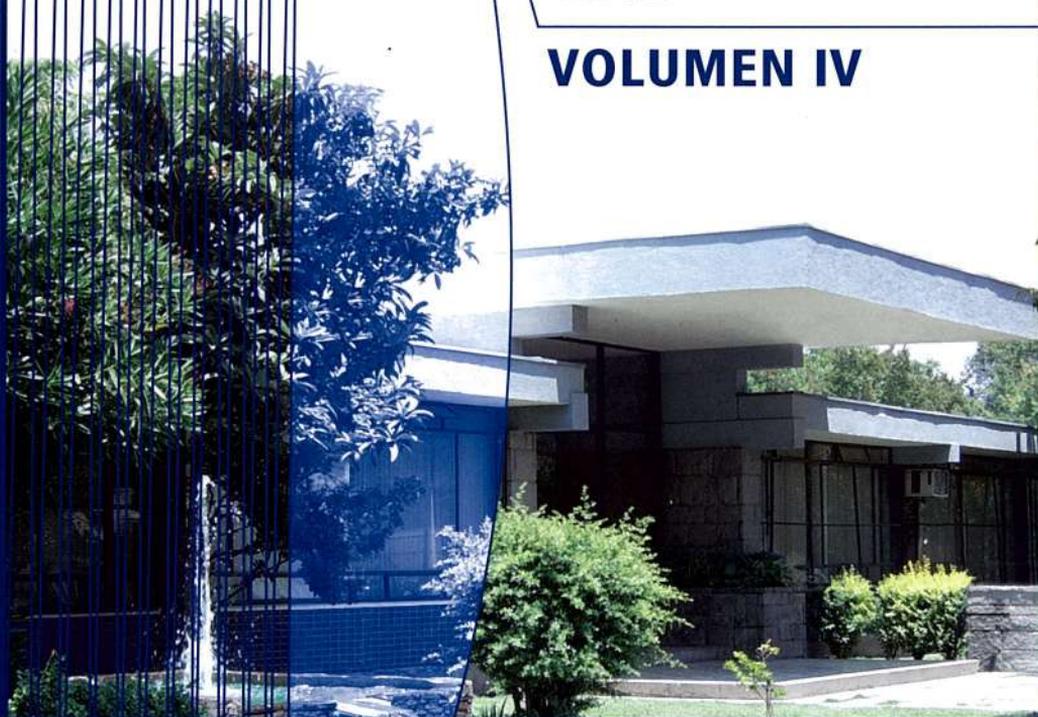




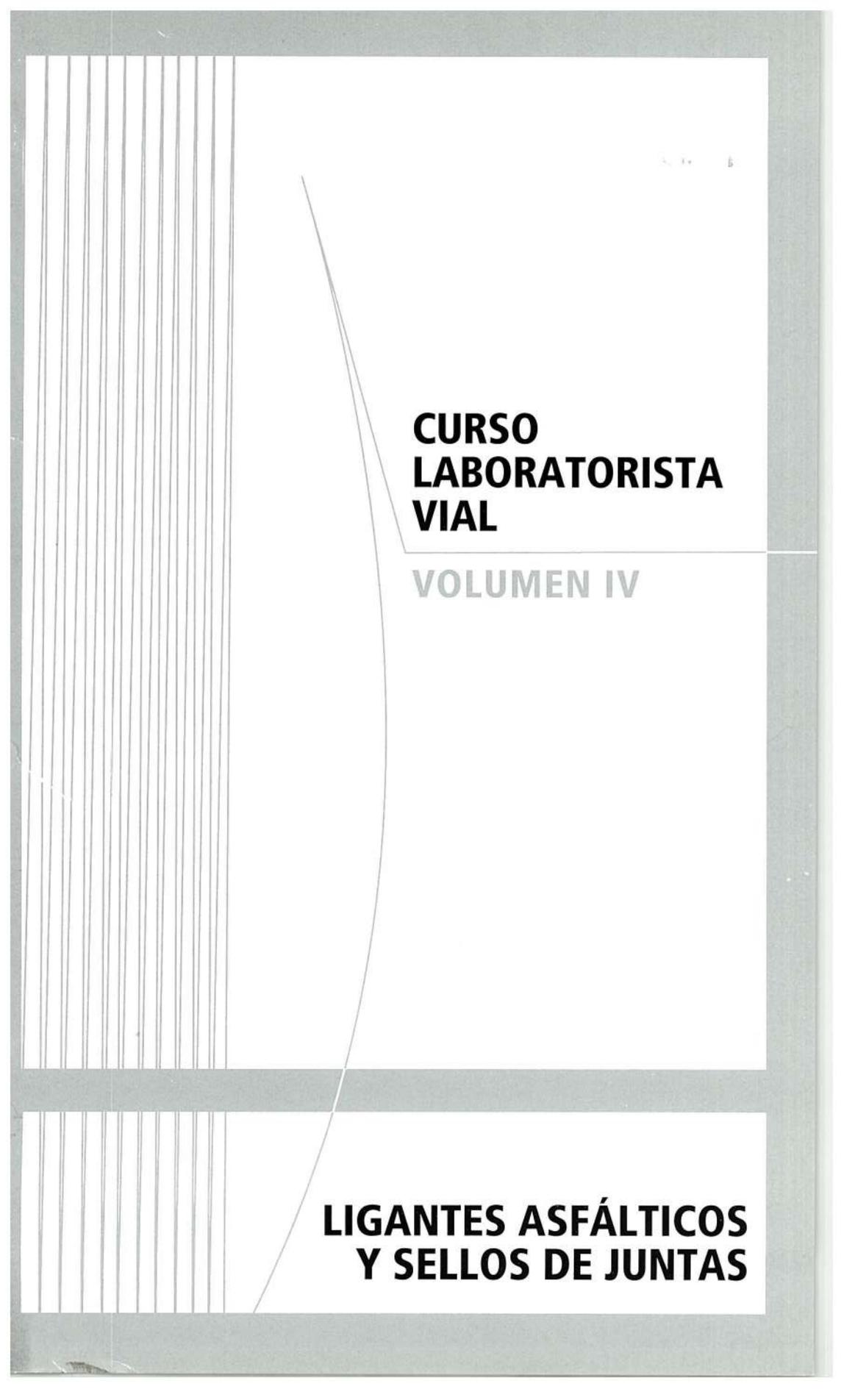
LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD

CURSO LABORATORISTA VIAL

VOLUMEN IV



LIGANTES ASFÁLTICOS Y SELLOS DE JUNTAS

The cover features a series of vertical lines on the left side and a large, thin, curved line that starts near the top center and curves downwards towards the bottom right. The text is positioned on the right side of the cover.

**CURSO
LABORATORISTA
VIAL**

VOLUMEN IV

**LIGANTES ASFÁLTICOS
Y SELLOS DE JUNTAS**

Descomocimiento

Reconocimiento

En la siguiente actualización del volumen ha sido necesario recurrir a la consulta de diversas normas, obras y revistas técnicas especializadas relacionadas con el tema, además de las investigaciones desarrolladas tanto en el Laboratorio Nacional de Vialidad como en otras instituciones.

Nuestros agradecimientos a todos los profesionales que participaron en la confección de este libro y de quienes han participado en su actualización.

Actualización:

Profesionales, señores:

Víctor Roco Herrera	Ingeniero Jefe Laboratorio Nacional de Vialidad
Gabriela Muñoz Rojas	Ing. Subrogante Laboratorio Nacional de Vialidad
Rosa Zuñiga Calderón	Jefe Subdepto. Tecnológico y Materiales LNV
Jorge Silva F.	Ingeniero Civil LNV

Primera edición:

Profesionales, señores:

Jorge Salgado Aravena	Ingeniero Civil
Mario Fernández Rodríguez	Ingeniero Civil
Renán Fuentes Arancibia	Ingeniero Civil
Rosa Zuñiga Calderón	Ingeniero Ejec. Químico
Gabriela Muñoz Rojas	Ingeniero Civil

Prólogo

Prólogo

Esta obra es una recopilación de las materias que se abordan en el Curso de Laboralista Vial dictado en el Laboratorio Nacional de Vialidad. La obra no tan sólo se orienta a laboratoristas viales, sino que a todos los profesionales y técnicos que quieran desempeñarse en el ámbito vial.

Este libro esta diseñado como material de apoyo y consulta para alumnos que participan de los cursos y también como guía para el cuerpo docente que los imparte .

Esta publicación está conformada por los siguientes volúmenes:

- I. Matemáticas
- II. Estadística y Metrología
- III. Geotecnia
- IV. Ligantes Asfálticos y Sellos de Juntas
- V. Mezclas Asfálticas
- VI. Hormigón
- VII. Operación y Mantenimiento de Equipos Nucleares
- VIII. Auscultaciones
- IX. Demarcación de Pavimento
- X. Diseño Estructural de Pavimento

El presente texto pretende entregar los conocimientos y herramientas necesarias que deben manejar los profesionales, técnicos y laboratoristas que se desempeñan en el ámbito del control de calidad de las obras viales.

ÍNDICE DE MATERIAS · ÍNDICE DE TABLAS · ÍNDICE DE FIGURAS · ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE MATERIAS

CAPÍTULO I	15
LIGANTES ASFÁLTICOS	
1.1 Introducción	15
1.2 Características del Asfalto	15
1.3 Terminología	16
1.4 Obtención del Asfalto	17
1.5 El Petróleo Crudo	17
1.6 El Proceso de Refinación del Petróleo	18
CAPÍTULO II	
TIPOS DE LIGANTES ASFÁLTICOS USADOS EN PAVIMENTOS	21
2.1 Cementos Asfálticos	21
2.1.1 Clasificación de los Cementos Asfálticos por Grado de Viscosidad	21
2.1.2 Clasificación de los Cemento Asfálticos por Grado de Penetración.	22
2.1.3 Composición de los Cementos Asfálticos	23
2.1.4 Métodos de Separación de componentes del Cemento Asfáltico a través de solventes	24
2.2 Cementos Asfálticos Modificados	25
2.2.1 Cementos Asfálticos Modificados con Polímeros	25
2.2.2 Cemento Asfáltico Multigrado	27
2.2.3 Mejoramiento del Asfalto con caucho reciclado de Neumático.	27
2.3 Asfaltos Cortados	31
2.3.1 Asfaltos Cortados de Curado Rápido	31
2.3.2 Asfaltos Cortados de Curado Medio	32
2.3.3 Asfaltos Cortados de Curado Lento	32
2.4 Emulsiones Asfálticas	33
2.4.1 Emulsiones Asfálticas Catiónicas	35
2.4.2 Emulsiones Asfálticas Aniónicas	36
2.5 Emulsiones Asfálticas Especiales	37
2.5.1 Emulsiones Catiónicas de Quebre Controlado	37
2.5.2 Emulsiones Imprimantes	37
2.5.3 Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros	38
2.5.4 Emulsiones Asfálticas Especiales para Riego de Liga	40
2.5.5 Emulsiones Asfálticas Sintéticas de Color	40

CAPÍTULO III	
MUESTREO DE MATERIALES ASFÁLTICOS	43
3.1 Alcance y Campo de Aplicación	43
3.2 Muestreo de Materiales Asfálticos	43
3.3 Etiquetación, Protección y Preservación de las Muestras	44
3.4 Métodos de Muestreo	45
3.4.1 Muestreo en Lugar de Producción	45
3.4.2 Muestreo a Camiones Distribuidores y Estanques de Almacenamiento	47
3.4.3 Muestreo de Tambores o Barriles	48
3.4.4 Muestreo de Materiales Semisolidos o Solidos Sin Chancar.	48
3.4.5 Precauciones en el almacenamiento de la Emulsiones Asfálticas	49
CAPÍTULO IV	
TIPO DE ASFALTO A EMPLEAR DE ACUERDO A SU APLICACIÓN	51
4.1 Riegos Asfálticos	51
4.2 Capas Asfálticas de Protección	52
4.3 Capas Asfálticas Estructurales.	52
4.4 Capas Asfálticas Especiales.	53
CAPÍTULO V	
ENSAYES REALIZADOS A LOS LIGANTES ASFÁLTICOS	55
5.1 Ensaye de Penetración	55
5.2 Ensaye de Ductilidad	55
5.3 Ensaye de Punto de Inflamación	56
5.4 Ensaye de Punto de Ablandamiento	56
5.5 Ensaye de Viscosidad	57
5.5.1 Ensaye para determinar la viscosidad absoluta mediante viscosímetros capilares de vacío	59
5.5.2 Ensaye para determinar la viscosidad cinemática mediante viscosímetros capilares	60
5.5.3 Ensaye para determinar la Viscosidad Rotacional	61
5.6 Ensaye para Determinar el Punto de Fragilidad de Fraass	62
5.7 Ensaye de Solubilidad	62
5.8 Ensaye de la Mancha	62
5.9 Ensaye de Película Delgada	63
5.10 Ensaye de Película Delgada Rotatoria	63
5.11 Cálculo de Índice de Durabilidad	64
5.12 Nomograma de Heukelom	64
5.12.1 Determinación de Índice de Pfeiffer	65

5.12.2	Determinación de las Temperaturas de Trabajo	66
5.12.3	Tipos de Cementos Asfálticos según Nomograma de Heukelom	66
5.13	Métodos de Recuperación del Cemento Asfáltico utilizado en Mezclas Asfálticas.	67
5.13.1	Ensaye de Recuperación del Cemento Asfáltico utilizando el Método Abson	68
5.13.2	Ensaye de Recuperación del Cemento Asfáltico utilizando el Método Rotavapor	68
5.14	Ensaye de Recuperación Elástica	69
5.15	Ensaye de Recuperación Elástica por Torsión	70
5.16	Ensaye de Estabilidad de Almacenamiento para Cementos Asfálticos Modificados con Polímeros	70
5.17	Cálculo del Índice de Penetración para Cemento Asfáltico Modificado	71
5.18	Ensaye de Resiliencia	72
5.19	Ensaye de Viscosidad Saybolt Furol	73
5.20	Ensaye de Destilación de Asfaltos Cortados	74
5.21	Ensaye de Capacidad de Almacenaje (Estabilidad) y Sedimentación de las Emulsiones Asfálticas	75
5.22	Ensaye de Demulsibilidad de las Emulsiones Asfálticas	76
5.23	Ensaye de Mezcla de Cemento de las Emulsiones Asfálticas	76
5.24	Ensaye de Carga de Partícula de las Emulsiones Asfálticas	77
5.25	Ensaye de Destilación de Emulsiones Asfálticas	77
5.26	Ensaye de Viscosidad Saybolt Universal	78
5.27	Ensaye de Flotación	79
5.28	Ensaye de obtención de Residuo de las Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros	79

CAPÍTULO VI

MÉTODOS DE ENSAYES DE LIGANTES ASFALTICOS SEGÚN SUPERPAVE

6.1	Introducción a Superpave	81
6.2	Conceptos Básicos	81
6.3	Métodos de Ensayes y Equipos Superpave	82
6.3.1	Procedimientos de Envejecimiento	82
6.3.2	Viscosidad Rotacional	83
6.3.3	Reómetro de Corte Dinámico (DSR)	83
6.3.4	Reómetro de Viga de Flexión (BBR)	84
6.3.5	Ensayo de Tracción Directa (DTT)	85
6.4	Grado de Desempeño	85

6.5	Utilización de la Especificación Superpave	86
6.5.1	Primera Etapa	86
6.5.2	Segunda Etapa	86
6.5.3	Tercera Etapa	86

CAPÍTULO VII

SELLOS DE JUNTAS	91	
7.1	Introducción	91
7.1.1	Tipos de Sellos de Juntas	91
7.1.2	Propiedades de los Selladores	92
7.2	Especificaciones y Características	92
7.3	Ensayes realizados a los Sellantes de Juntas	94
7.3.1	Ensaye de Penetración con Cono	94
7.3.2	Ensaye de Flujo	94
7.3.3	Ensaye de Ligazón	94
7.3.4	Ensaye de Resiliencia	96
7.4	Consideraciones para Obras de Mantenimiento Vial	96
7.5	Preparación de las juntas en obras nuevas de hormigón	97
7.6	Preparación de las juntas o grietas en obras	98
7.6.1	Limpieza.	98
7.6.2	Imprimación.	99
7.6.3	Preparación de la junta o grieta, de acuerdo a su ancho	99
7.7	Consideraciones Generales.	101
7.8	Determinación del Ancho Óptimo del Sello de la Junta	102

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

TIPOS DE LIGANTES ASFÁLTICOS USADOS EN PAVIMENTOS

1	Especificaciones para los Cementos Asfálticos según Grado de Viscosidad	22
2	Requisitos de los Cementos Asfálticos según Grado de Penetración	23
3	Especificaciones para Cementos Asfálticos Modificados con Polímeros	26
4	Especificaciones para Cementos Asfálticos Multigrado	27
5	Requisitos de tamaño del caucho triturado en migas para proceso húmedo	29
6	Especificaciones para las condiciones de mezclado para la obtención de Ligante tipo asfalto caucho	29
7	Especificaciones para Ligante Asfalto Caucho para proceso húmedo	30
8	Especificaciones para Asfaltos Cortados de Curado Rápido	31
9	Especificaciones para Asfaltos Cortados de Curado Medio	32
10	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Catiónicas	36
11	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Aniónicas	37
12	Especificaciones para Emulsiones Imprimantes	38
13	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros	39
14	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas de Quiebre Controlado Modificadas con Polímeros	39
15	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Especiales para Riego de Liga	40

CAPÍTULO III

MUESTREO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

16	Indicaciones para Muestreo según Tipo Material.	43
17	Tipos de Envases para Muestreo	44
18	Unidades por Extraer según Tamaño del Lote.	48

CAPÍTULO IV

TIPOS DE ASFALTO A EMPLEAR DE ACUERDO A SU APLICACIÓN

19	Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Riegos Asfálticos	51
20	Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Capas de Protección	52
21	Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Capas Estructurales	52
22	Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Capas Especiales	53

CAPÍTULO VI

MÉTODO DE ENSAYE PARA LIGANTES ASFÁLTICOS SEGÚN SUPERPAVE

23	Muestra esquemáticamente la relación entre las especificaciones Superpave y los ensayos realizados	87
24	Tabla resumida de Especificaciones SUPERPAVE	88

CAPÍTULO VII

SELLOS DE JUNTAS

25	Requisitos para de sellantes de juntas.	93
26	Ensayos realizados a Mastic Asfáltico Modificado	97
27	Granulometrías de Arenas para Sellado	97

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I LIGANTES ASFÁLTICOS

- | | | |
|----|--|----|
| 1. | Representación de "crudos" de distinta procedencia "A" y "B" | 18 |
| 2. | Representación esquemática de una Refinería de Crudo de Petróleo | 19 |

CAPÍTULO II TIPOS DE LIGANTES ASFÁLTICOS USADOS EN PAVIMENTOS

- | | | |
|----|---|----|
| 3. | Representación esquemática de la Estructura del Cemento Asfáltico | 24 |
| 4. | Esquema de Proceso Seco | 28 |
| 5. | Esquema de Proceso Humedo | 29 |
| 6. | Sistema de Fases, Asfalto en Agua . | 33 |
| 7. | Sistema de Fases, Asfalto en Agua . | 33 |
| 8. | Representación del quiebre de una emulsión asfáltica | 34 |
| 9. | Tonalidades del Asfalto Sintético de Color | 41 |

CAPÍTULO III MUESTREO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

- | | | |
|-----|---|----|
| 10. | Válvula de Muestreo | 45 |
| 11. | Tubo Muestreador | 45 |
| 12. | Envase Desechable. | 46 |
| 13. | Muestreador de Inmersión | 46 |
| 14. | Dispositivo Típico para muestrear asfaltos líquidos desde transportes | 47 |
| 15. | Representación esquemática de la sedimentación de la Emulsión | 49 |

CAPÍTULO V MÉTODOS DE ENSAYES REALIZADOS A LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

- | | | |
|-----|---|----|
| 16. | Representación esquemática del ensaye de Penetración | 55 |
| 17. | Representación esquemática del ensaye de Ductilidad | 55 |
| 18. | Representación esquemática del ensaye de Punto de Ablandamiento | 57 |
| 19. | Representación del desplazamiento del fluido según viscosidad | 57 |
| 20. | Representación del Modelo Newtoniano de los no Newtoniano | 58 |
| 21. | Representación esquemática de un Viscosímetro Capilar de Vacío | 60 |
| 22. | Representación esquemática del Viscosímetro cinemático | 61 |
| 23. | Detalle fotográfico del ensayo de Fraass | 62 |
| 24. | Detalle del interior del equipo Horno Película Delgada Rotatoria | 63 |
| 25. | Nomograma de Heukelom, Índice de Pfeiffer | 65 |
| 26. | Nomograma de Heukelom, Temperaturas de Mezclado y Compactación | 66 |
| 27. | Nomograma de Heukelom, Tipo de Curvas | 67 |
| 28. | Representación esquemática del Equipo Abson | 68 |
| 29. | Representación esquemática del Equipo Rotavapor | 69 |
| 30. | Detalle fotográfico en la realización del Ensayo de Recuperación Elástica | 69 |
| 31. | Detalle fotográfico equipo de Recuperación Elástica Torsional | 70 |
| 32. | Esquema del estanque utilizado para el Ensayo de Estabilidad de Almacenamiento de Cemento Asfáltico modificado con Polímero | 71 |
| 33. | Representación esquemática del Nomograma de Índice de Penetración | 72 |
| 34. | Representación esquemática del Ensayo de Resiliencia | 73 |
| 35. | Detalle esquemático del Ensayo en Viscosímetro Saybolt | 73 |
| 36. | Representación esquemática del Ensayo de Destilación de asfaltos cortados | 74 |
| 37. | Representación esquemática de la decantación de la una Emulsión Asfáltica | 75 |
| 38. | Representación esquemática Carga de Partículas | 77 |
| 39. | Representación del Ensayo de Destilación de Emulsiones Asfálticas | 78 |
| 40. | Representación del Accesorio para Ensayo de Flotación | 79 |

CAPÍTULO VI**MÉTODO DE ENSAYE DE LIGANTES ASFÁLTICOS SEGÚN SUPERPAVE**

41	Fotografía Horno PDR	82
42	Detalle fotográfico PAV	82
43	Representación esquemática del Viscosímetro Rotacional	83
44	Detalle de los platos del Reómetro de Corte Dinámico	84
45	Esquema de la Viga de Flexión a baja temperatura	84
46	Esquema del Ensayo de Tracción Directa	85

CAPÍTULO VII**SELLOS DE JUNTAS**

47	Esquema representativo de la función óptima del sellantes	92
48	Descripción esquemática del armado de las probetas de ensaye para Ligazón	95
49	Representación esquemática del Ensayo de Resiliencia.	96
50	Esquema representativo de la preparación de la junta.	98
51	Esquema representativo de Limpieza de una Junta.	99
52	Equipos utilizados para ranurar fisuras o grietas.	99
53	Esquema representativo colocación de un cordón de respaldo	100
54	Esquema representativo de colocación de un Sellante.	101
55	Esquema representativo de una buena colocación del Sellante.	102
56	Esquema representativo de una mala colocación del Sellante.	102

ÍNDICE DE ANEXOS

A	Método de Determinación de la Densidad del Cemento Asfáltico	107
B	Método Estático para Determinar la Adherencia Agregado – Ligante Asfáltico	109
C	Método para Determinar la Adherencia Agregado – Ligante Asfáltico mediante Carbonato de Sodio (Riedel – Weber)	110
D	Método Dinámico para Determinar la Adherencia Agregado – Ligante Asfáltico	112
E	Método de Determinación de Sales Solubles en agregados pétreos empleados en pavimentos flexibles	113
F	Método para Determinación Colorimétrica de la presencia de Impurezas Orgánicas en Arenas para Hormigón	114
G	Correlaciones de Conversión de Viscosidad Cinemática a Saybolt Universal o a Saybolt Furoi	115

BIBLIOGRAFÍA

121

Capítulo I

1. INTRODUCCIÓN

En líneas generales, se llama asfalto a determinadas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas, compuestas esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleo por destilación o extracción y cuyas propiedades físicas y químicas los hacen aptos para multitud de aplicaciones de diversos tipos.

Los datos existentes identifican al asfalto como uno de los más antiguos ligantes empleados por el hombre, ya que tenemos conocimiento de su uso alrededor del año 3800 A. de C. en Mesopotamia. El asfalto primeramente conocido y el que se empleó usualmente hasta época muy próxima a nosotros es el asfalto natural, es decir, que se muestra en la naturaleza en forma de yacimientos que pueden explotarse sin dificultad y cuyo empleo no requiere operaciones industriales de ningún tipo para su preparación.

En época relativamente reciente comenzó la explotación de pozos de petróleo y su destilación, obteniéndose diversos productos de aplicación específica y como residuo de ésta el asfalto. El aporte intensivo del asfalto en obras viales ocurrió a principios del siglo XIX, debido a dos acontecimientos:

- La aparición del automóvil con rodado neumático, y
- La explotación masiva del petróleo, permitió la producción del asfalto con mayor facilidad.

En el primer caso, el automóvil obtuvo pronto el favor del público quién reclamó por el mejoramiento de los caminos. En el segundo caso, el petróleo produjo importantes cantidades de asfaltos aptos para uso vial (cementos asfálticos y sus derivados).

El ritmo de crecimiento de las obras viales y la necesidad de mejorar los trabajos y reducir los costos hizo progresar las Operaciones Viales relacionadas con los productos asfálticos. Las primeras mezclas asfálticas en caliente irrumpieron en el mercado alrededor de 1870. Hacia 1900 ya se había mejorado su diseño y en la actualidad se siguen realizando investigaciones tendientes a mejorar la calidad y la fabricación de nuevos productos que mejoren las características de diseño y vida útil.

1.1 CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo. Es capaz de resistir considerables esfuerzos instantáneos, aunque tiende a fluir bajo la acción de cargas permanentes. Aplicando estas propiedades, el asfalto puede cumplir en la construcción de pavimentos las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la superficie del camino, evitando la penetración del agua lluvia.
- Impermeabilizar la masa de determinadas capas del pavimento, haciéndolas poco sensibles a la humedad.
- Dotar de cohesión a los materiales granulares empleados. Se aplica esta propiedad en las mezclas asfálticas para la construcción de bases asfálticas, capas intermedias y capa de rodado.

En todo caso no sólo da a la mezcla una gran resistencia al desgaste, muy útil en capas de superficie, sino que puede proporcionarle gran resistencia mecánica, mejorando sensiblemente el valor portante del pavimento, permitiendo disminuir su espesor.

Las propiedades fundamentales de un pavimento asfáltico son las siguientes:

- Debe ser durable, es decir, no debe disgregarse bajo la acción del tráfico o los agentes atmosféricos.
- Debe ser antideslizante. El coeficiente de roce de su superficie debe ser elevado, de manera que se evite el deslizamiento de los vehículos que transitan por él.
- Debe ser estable, es decir, debe resistir las deformaciones producidas por las cargas que lo solicitan. En otras palabras, no se deben producir en él huellas ni ondulaciones.
- Por último, debe ser económico.

El que se cumpla con las condiciones anteriores depende de los siguientes factores:

- i) **Tipo, calidad y granulometría de los áridos:** En general, la estabilidad aumenta cuando la mezcla es más densa y mientras mayor sea el tamaño máximo. A su vez, si el agregado es chancado, proporciona mayor trabazón entre las partículas y en consecuencia mayor estabilidad.

En cuanto a la calidad de los agregados, existen materiales blandos que se rompen bajo la acción abrasiva del tráfico. Esto produce irregularidades y a veces reblandecimiento y desintegración. Las partículas inestables se reblandecen cuando se mojan y se rompen, produciendo el mismo efecto anterior.

- ii) **Contenido de asfalto en la mezcla:** Un contenido demasiado elevado de asfalto lubrica las partículas originando inestabilidad de la mezcla. También el asfalto puede aflorar a la superficie, tornando peligroso el pavimento al producirse el deslizamiento de los vehículos. Por el contrario, un contenido bajo ocasiona desintegración.
- iii) **Consistencia y calidad del asfalto empleado:** En cuanto a la consistencia, un asfalto muy duro puede dar lugar a un pavimento demasiado rígido y por lo tanto quebradizo en tiempo frío. Un asfalto demasiado blando origina un pavimento de baja estabilidad.

1.2 TERMINOLOGÍA

Debido a la antigüedad del asfalto es la abundancia de términos relativos a él. Actualmente existe una terminología adoptada oficialmente en casi todos los países, establecida por la Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras (AIPCR). Los términos principales son los siguientes:

Betún (Bitumen): Mezcla de hidrocarburos de origen natural o pirogenados, o combinaciones de ambos (frecuentemente acompañados de sus derivados no metálicos), que pueden ser gaseosos, líquidos, semisólidos y que son completamente solubles en sulfuro de carbono.

Betún Asfáltico (Asphaltic Bitumen): Betún natural preparado a partir de hidrocarburos naturales o derivados de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o cracking, sólido o viscoso, con bajo contenido en productos volátiles, con propiedades aglomerantes características, especialmente solubles en sulfuro de carbono.

Asfalto: Mezcla natural o mecánica en la que los betunes asfálticos están asociados con materia mineral inerte. La palabra asfalto debe acompañarse de otra que indique el origen del producto.

Estos términos no corresponden a los establecidos por ASTM, la que presenta las siguientes definiciones:

Bitumen: Material hidrocarburado de origen natural o pirogenado, o combinación de ambos, frecuentemente acompañado por sus derivados no metálicos, el cual puede ser gaseoso, líquido o sólido y completamente soluble en sulfuro de carbono.

Material Bituminoso: Una sustancia que se caracteriza por presencia de bitumen, o de la cual puede ser extraída.

Asfalto: Material cementante de color café oscuro o negro, de consistencia sólida o semisólida en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes los que se encuentran en la naturaleza tal cual, o también se obtienen como residuo de la refinación del petróleo.

Asfalto líquido: Según la terminología del "Asphalt Institute", un Asfalto líquido se define como: "aquel material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que se salga del campo en que se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300 dmm".

1.3 OBTENCIÓN DEL ASFALTO

El asfalto usado para la construcción de carreteras puede encontrarse en tres estados naturales:

- Parte residual de los petróleos de base asfáltica.
- En forma de lagos o afloraciones de asfalto.
- Esquistos bituminosos o también llamados como rocas asfálticas.

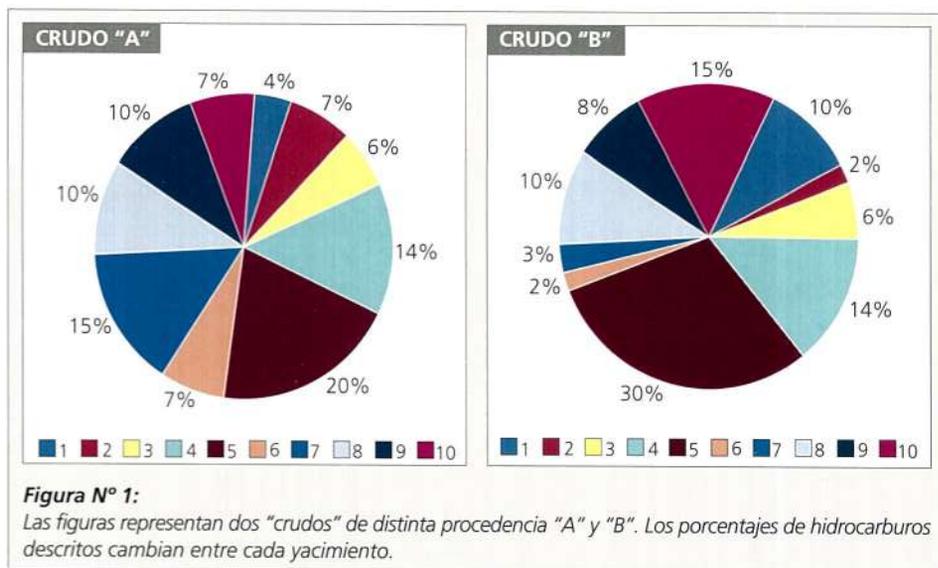
En Chile, las dos últimas fuentes mencionadas no tienen mayor relevancia, motivo por el cual sólo se analiza en detalle el asfalto proveniente de la destilación del petróleo y sus derivados que dan origen al residuo asfáltico utilizado en la construcción de carreteras.

1.4 EL PETRÓLEO CRUDO

En la industria petrolera la palabra "crudo" se emplea para designar al petróleo en su forma natural tal como sale de la tierra. El "crudo" es un conjunto de una gran cantidad de compuestos llamados hidrocarburos, denominados así porque sus moléculas están formadas por átomos de carbono e hidrógeno.

Esta variedad de hidrocarburos que conforman el petróleo, constituye una extensa cantidad de sustancias que en condiciones normales de temperatura y presión, van desde sólidos, tales como el asfalto y la cera, hasta los gases inflamables como el metano.

La proporción de los diferentes hidrocarburos que integran el crudo varía en cada yacimiento, resultando la existencia de crudos que van desde un líquido negro, grueso y opaco hasta aquellos semitransparentes de color claro o verdosos. Estos aspectos físicos son resultado de la presencia, porcentaje y estructura química de los diferentes hidrocarburos que lo integran.



Los Crudos se pueden clasificar como:

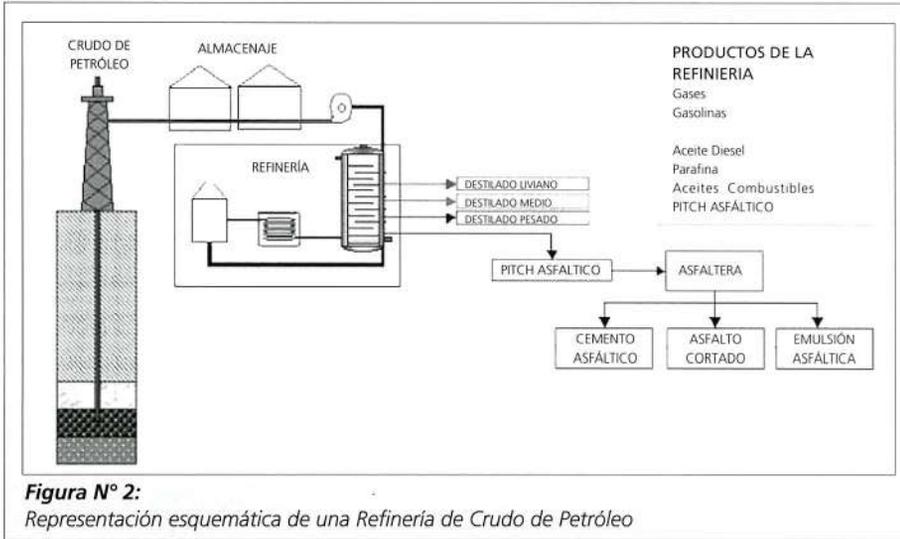
- **Crudos de Base Parafínica:** Contienen parafina y muy poco o ningún material asfáltico. Generalmente son aptos para obtener gasolinas. De ellos se producen cera parafínica y aceites lubricantes de alta calidad.
- **Crudos de Base Asfáltica:** Contienen poca o ninguna parafina, pero sí material asfáltico en grandes proporciones. Los hidrocarburos consisten principalmente en la serie nafténica.
- **Crudos de Base Mixta:** Contienen materiales tanto asfáltico como parafínico. En su composición entran hidrocarburos parafínicos y nafténicos junto con cierta proporción de hidrocarburos aromáticos.

En la práctica, rara vez se puede conseguir un crudo que se pudiese clasificar puramente como parafínico, nafténico o aromático, puesto que siempre hay ciertos porcentajes de cada familia de los otros hidrocarburos presentes. Los asfaltos para pavimentos se obtienen de los dos últimos tipos, mediante procesos de destilación, quedando como residuos de dicho proceso.

1.5 EL PROCESO DE REFINACIÓN DEL PETRÓLEO

El crudo en una refinería pasa por una variedad de procedimientos donde es convertido en varios productos. Entre los productos obtenidos en una refinería se encuentran gases, gasolinas, kerosene, diesel, lubricantes, combustibles y pitch asfáltico.

Pitch Asfáltico: Es el producto obtenido desde el fondo de la torre de destilación, posterior a la extracción de los componentes livianos.



Los asfaltos provenientes de la destilación de petróleos de Base Asfáltica pueden tener hasta un 97% de bitumen.

La mayor o menor dureza del asfalto depende de las condiciones de destilación, tales como presión, temperatura y tiempo. Estos asfaltos reciben el nombre de "destilado directo" para diferenciarlos de aquellos obtenidos por oxidación, que toman el nombre de "oxidados" y que son empleados en impermeabilizaciones.

El residuo proveniente del petróleo de base parafínica está constituido por parafina semisólida y coke⁽¹⁾. El aspecto de este residuo es aceitoso o grasoso y no tiene propiedades cohesivas; al contacto con el aire se oxida lentamente dejando un residuo polvoroso o escamoso que no tiene ningún poder ligante y no es apto para pavimentos asfálticos.

Nota 1:

Coke de petróleo: Carbón relativamente puro que en pequeña cantidad se obtiene como residuo de la destilación del petróleo.

Capitolo II

Los tipos de ligantes asfálticos más usados en Chile son cementos asfálticos y asfalto líquidos.

Los asfaltos líquidos están compuestos por una base asfáltica (cemento asfáltico) y un fluidificante volátil que puede ser bencina, kerosene o agua con emulsionador.

El fluidificante se agrega con el propósito de dar al asfalto la viscosidad necesaria para poderlo mezclar y trabajar con los áridos a temperaturas más bajas. Cuando el fluidificante es agua con emulsificador se denomina Emulsión Asfáltica.

2.1 CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los cementos asfálticos se designan por las letras CA y son asfaltos refinados o una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante proveniente de la destilación del crudo de petróleo y que otorga la consistencia apropiada para trabajos de pavimentación.

Existen diferentes maneras de clasificar a un Cemento Asfáltico: Por Grado de Viscosidad Original, por Grado de Penetración, por Grado de Viscosidad del Residuo, y por Grado de Desempeño PG. En Chile actualmente la clasificación se realiza por grado de viscosidad.

Algunos grados de cementos asfálticos como CA 40 - 50 cuando se requiera utilizar en la fabricación de mastic asfáltico y CA 120 - 150 para otros usos, se deberán continuar especificando por grado de penetración.

2.1.1 Clasificación del Cemento Asfáltico por Grado de Viscosidad.

El ensaye de viscosidad es un método cuantitativo que permite medir las características reológicas del ligante asfáltico, siendo esta una propiedad intrínseca del material.

Esta nueva especificación clasifica los cementos asfálticos como: CA 24 donde la viscosidad Absoluta Original a 60 °C y 300 mm Hg, debe ser mayor o igual a 2400 poises y CA 14 donde la viscosidad Absoluta Original a 60°C y 300 mm Hg, debe ser mayor o igual a 1400 poises y menor a 2400 poises.

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 1: Especificaciones para los Cementos Asfálticos según Grado de Viscosidad.

Ensayes	Grado de Viscosidad			
	CA 24		CA 14	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Absoluta a 60°C, 300 mm Hg, Poises	2400		1400	2400
Penetración, 100 grs, 25°C, 5 seg. (dmm)	Informar		Informar	
Ensaye de la Mancha (% Xilol)		30		30
Solubilidad en tricloroetileno, %	99		99	
Punto de Inflamación, °C	232		232	
Índice de Penetración, IP	-1.5 a +1.0 para todos los grados			
Ensayes después de Película Delgada Rotatoria :				
- Pérdida por Calentamiento, %		0,8		1,0
- Viscosidad Absoluta a 60°C, 300 mm Hg, Poises	Informar		Informar	
- Ductilidad del residuo (25°C, 5 cm/min), cm	100		100	
- Índice de durabilidad, ID:		3,5		3,5

Los cementos asfálticos CA 24 clasificados por viscosidad se deberán aplicar en zonas con clima cálido y/o templado, y los cementos asfálticos CA 14 en zonas de climas fríos.

En forma general se indica que los cementos asfálticos CA 24 se deberán utilizar en las zonas donde se empleaban los cementos asfálticos CA 60/80 según clasificación por penetración, y los cementos asfálticos CA 14 en las zonas donde se empleaban los cementos asfálticos tipo CA 80/100 según clasificación por penetración.

Ningún proyecto podrá tener una exigencia de viscosidad absoluta original para el ligante asfáltico, diferente del valor mínimo indicado en la especificación.

Ningún proyecto podrá tener una especificación adicional por penetración.

2.1.2 Clasificación del Cemento Asfáltico por Grado de Penetración

Los cementos asfálticos se clasifican en grados según su dureza o consistencia, que se mide mediante el ensaye de penetración, expresados en 1/10 mm, valor que es inverso a la dureza.

De acuerdo a esto, los cementos asfálticos más comúnmente usados son los siguientes:

CA	40	-	50
CA	60	-	80
CA	80	-	100
CA	120	-	150

Las dos cifras indican el rango mínimo y máximo de penetración de un determinado Cemento asfáltico.

El Método de Ensaye de Penetración es una medida empírica.

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 2: Especificaciones de los Cementos Asfálticos según Grado de Penetración.

Ensayes	Grado de Penetración			
	CA 60 / 80		CA 80 / 100	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Penetración 25°C, 100 g, 5 s, 0.1 mm	60	80	80	100
Punto de Inflamación, °C	232		232	
Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm	100		100	
Solubilidad en tricloroetileno, %	Mínimo 99,0 para todos los grados			
Índice de Penetración, IP	-1 a +1			
Ensaye de la Mancha, % Xilol	Negativo para todos los grados			
Ensayes después de Película Delgada Rotatoria :				
- Pérdida por Calentamiento, %		0,8		1,0
- Penetración del Residuo, % original	54		50	
- Ductilidad 25°C, 5 cm/min, cm	Mínimo 100 para todos los grados			
- Índice de durabilidad, ID		3.5		3.5

Obs.: En la tabla faltan otros grados de Penetración, que han sido omitidos en este libro.

2.1.3 Composición del Cemento Asfáltico

Los asfaltos provenientes del petróleo están formados por compuestos de alto peso molecular.

Son de estructura muy compleja, formados por hidrocarburos y hetero compuestos formados por carbono e hidrógeno acompañados de pequeñas cantidades de nitrógeno, azufre y oxígeno; ya sea de estructura lineal, ramificada o cíclicas, o bien formando anillos aromáticos.

A principios del siglo XX se comenzaron a aplicar métodos instrumentales de análisis para el estudio de los componentes de una muestra, estos utilizan propiedades físicas tales como la conductividad, potencial de electrodo, absorción o emisión de luz, relación masa / carga, fluorescencia, cromatografía y electroforesis que comienzan a desplazar los métodos clásicos.

En forma genérica los asfaltos se dividen en asfaltenos y maltenos:

Asfaltenos:

- Son compuestos orgánicos principalmente de naturaleza aromática de alto peso molecular y alta viscosidad que proveen elasticidad y resistencia al asfalto.
- Es un polvo similar al grafito de color negro a café oscuro, aportando al asfalto su nombre y dureza.
- Los Asfaltenos son solubles en Tricloroetileno, Xilol entre otros solventes e insolubles en N-heptano.

Maltenos:

- Están relacionados con las propiedades aglutinantes del asfalto, como la adherencia y ductilidad (viscoelasticidad).
- Es un líquido viscoso y pegajoso, compuestos por Resinas y Aceites:
 - Las Resinas son moléculas de menor peso molecular que los asfaltenos y tienen un mayor número de ramificaciones y cadenas. Son fluidos pegajosos de color ámbar o café oscuro.
 - Los Aceites son moléculas de menor peso molecular. Sus cadenas son menos ramificadas y con pocos anillos. Son de color claro y sirven de transporte a las resinas y asfaltenos.

- Los Maltenos son solubles en Tricloroetileno, Xilol y N-heptano.

La diferencia entre Asfaltenos y Maltenos, es la disminución gradual de compuestos aromáticos y un aumento en el carácter parafínico.

Por efecto de las altas temperatura, parte de los aceites livianos volatilizan, y por Reacciones Químicas, se transforman en resinas. A la vez, por Oxidación, los maltenos se transforman en asfaltenos. Por tal motivo, el cemento asfáltico aumenta su dureza y pierde poder aglomerante.

De la proporción en que se encuentran los asfaltenos y los maltenos en el asfalto depende las propiedades de viscoelasticidad.

2.1.4 Métodos de Separación de componentes del Cemento Asfáltico a través de solventes

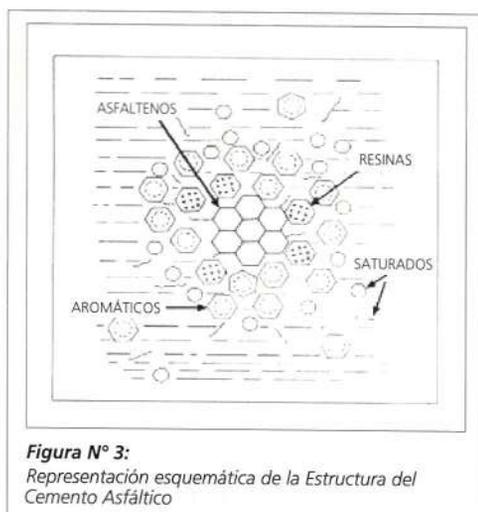
a. Método de fraccionamiento con solventes.

Uno de los métodos clásicos a principios del siglo XX fue de Richardson, quien separó el asfalto en dos fracciones, mediante nafta 88-B, denominando asfaltenos a la fracción insoluble y maltenos a la fracción soluble en la misma.

Esta técnica fue mejorada usando N-pentano para separar las fracciones solubles de la insoluble o asfaltenos.

Mas tarde Hoiberg - Hougen y Zapata separan a los asfaltos en tres fracciones: asfaltenos – resina y aceites; siendo Grevis, el primer investigador que utiliza N-hexano para separar los asfaltenos y otras cuatro fracciones en su intento de separar los complejos compuestos químicos que dan lugar a los asfaltos.

A mediados del siglo pasado Traxler y Schwayer simplifican la técnica de fraccionamiento utilizada hasta el momento eliminando la separación de los asfaltenos, por lo cual todas las fracciones de componentes de la fracción maltenica se encontraron acompañadas por asfaltenos. El mismo autor mas tarde modifica el método separando los asfaltenos con n-pentano y los maltenos en cuatro fracciones; técnica continuada por Knowles en sus estudios de composición de asfaltos.



b. Método de Separación Cromatográfica.

Investigadores utilizaron n-heptano para la separación de los asfaltenos de los maltenos.

A su vez a través de la columna con silica gel se dividió los maltenos en dos fracciones, más tarde se separó los maltenos en tres fracciones, en tanto que otros investigadores realizaron técnicas combinadas de separación por cromatografía y precipitación química.

Esta técnica fue perfeccionada por Corbett en los años setenta, obteniéndose el Método de fraccionamiento por solventes de Adsorción – Desorción selectiva de Corbett (ASTM D 4124).

Resumen del Método de Separación según ASTM D 4124:

En la primera etapa se separan los asfaltenos y maltenos utilizando N-heptano, en una segunda etapa, los asfaltenos insolubles se separan por filtración y los maltenos solubles se pasan a través de columna cromatográfica rellena con alumina. En esta etapa la columna se eluye con N-heptano con lo cual se separa la fracción de saturados que son incoloros, luego se eluye con tolueno, separándose los naftenos aromáticos de un color amarillo-rojizo, posteriormente se agrega una mezcla de metanol tolueno lo que separa la última fracción que corresponden a los polares aromáticos los que son arrastrados casi en su totalidad con tricloroetileno.

2.2 CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS

2.2.1 Cementos Asfálticos Modificados con Polímeros

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formado por la unión de moléculas pequeñas llamadas monómeros, formando macromoléculas de diversas formas: cadenas en escalera, cadenas termofijas (que no son afectadas por cambios de temperaturas), cadenas largas y moléculas sueltas, etc.

No todos los polímeros son compatibles con el asfalto, debido a que el polímero con el cemento asfáltico forman sistemas multifase.

Plastómeros: Al estirarlos sobrepasan el esfuerzo o tensión de fluencia, proceso irreversible al cesar el esfuerzo realizado. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad.

Elastómeros: El proceso es reversible, vuelve a su posición original después de estirarlos, es decir, son elásticos.

Uno de polímeros más utilizado en Chile corresponde al SBS (Estireno-Butadieno-Estireno), siendo éste el que tiene mejor comportamiento durante su vida útil.

El principal efecto del polímero en el cemento asfáltico es el cambio en la relación Viscosidad-Temperatura, permitiendo mejorar el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas. A bajas temperaturas, mejora la elasticidad evitando fisuraciones y a altas temperaturas aumenta la viscosidad, evitando deformaciones.

La modificación del asfalto es una técnica utilizada para mejorar la calidad de los cementos asfálticos utilizados en pavimentación. Consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar las características de flexibilidad, durabilidad, adherencia, disminución de la susceptibilidad térmica, mejor comportamiento frente a la aplicación de cargas estáticas, disminución de la deformación plástica permanente y aumento de la resistencia a la fatiga.

A su vez aumenta la elasticidad disminuyendo el agrietamiento a bajas temperaturas. Estas ventajas permiten trabajar con mezclas asfálticas en caliente, en donde la calidad del ligante asfáltico tradicional no es suficiente para su óptimo desempeño en servicio.

Los asfaltos modificados se utilizan en mezclas drenantes (donde se requiere una gran película de asfalto que recubra los áridos para proporcionar una buena adherencia entre ellos), microaglomerados discontinuos en caliente (mezclas de pequeño espesor) y en mezclas en caliente donde el pavimento requiera soportar altas cargas, alto tránsito vehicular y/o también condiciones climáticas adversas, donde existe fuertes gradientes térmicos y en zonas cordilleranas.

Las propiedades del asfalto modificado con polímero son:

- Mayor rango de plasticidad (diferencia entre el punto de ablandamiento y el Índice de Fraass)
- Mayor cohesión.
- Mejor respuesta elástica.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

Estas propiedades dependen de los siguientes factores:

- Tipo y composición del polímero.
- Característica y estructura coloidal del asfalto base.
- Porcentaje de polímero agregado al Cemento Asfáltico.

Para que cumplan las especificaciones requeridas, se debe seleccionar cuidadosamente el asfalto convencional, el tipo de polímero, dosificación y elaboración de la mezcla y de las condiciones de almacenaje. Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas.

El polímero puede venir en polvo, en pellets o en grandes panes. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 3: Especificaciones para Cementos Asfálticos Modificados con Polímeros.

Ensaye	Especificación		Método
	CA 60-80	CA 80 – 100	
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	60 – 80	80 – 100	8.302.3
Punto de Ablandamiento, °C	Mín. 60	Mín. 60	8.302.16
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	Mín. 80	Mín. 80	8.302.8
Ductilidad, 5°C, 5 cm/min, cm	Mín. 50	Mín. 50	8.302.8
Recuperación Elástica, 13°C, %	Mín. 50	Mín. 50	8.302.19
Índice de Penetración	Mín. +2	Mín. +2	8.302.21
Punto de Quiebre Fraass, °C	Máx. -17	Máx. -17	8.302.17
Punto de Inflamación, °C	Mín. 235	Mín. 235	8.302.9

2.2.2 Cemento Asfáltico Multigrado.

Es un asfalto modificado químicamente, sin polímero, de alto rendimiento, especialmente diseñado para aumentar la resistencia al ahuellamiento y la fatiga en superficies de rodadura de pavimentos asfálticos sujetos a altas solicitaciones.

Es un producto termoplástico, no contaminante, de color negro y posee una relación viscosidad-temperatura mejorada. Combina las ventajas de rendimiento de un asfalto de alta viscosidad, a elevadas temperaturas, y un asfalto de baja viscosidad a bajas temperaturas. Resultando un cemento asfáltico de baja susceptibilidad térmica, gran resistencia al ahuellamiento, alta estabilidad en la mezcla, buena adherencia a los áridos y resistencia a la fatiga.

Es una alternativa más económica que los asfaltos modificados con polímeros, utilizados en pavimentos de alto rendimiento. Igual provee una alternativa muy superior a los cementos asfálticos tradicionales, resultando en pavimentos de mayor vida útil.

Está diseñado para la fabricación de mezclas en caliente, especialmente para capas de rodado que requieren de una alta resistencia a la deformación plástica y fatiga, ya sea con granulometrías de graduación semidensa, densa o abierta.

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 4: Especificaciones para Cementos Asfálticos Multigrado.

Ensaye	Especificación				Método
	CA 40 - 60		CA 60 - 80		
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	40	60	80	100	8.302.3
Punto de Ablandamiento, °C	55		55		8.302.16
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	80		80		8.302.8
Punto de Inflamación, °C,	235		235		8.302.9
Viscosidad Brookfield, 60°C, Poises	7.000	13.000	5.000	11.000	8.302.24
Índice de Fraass, °C		-17		-17	8.302.17
Índice de Penetración	+0,3		+0,3		8.302.21
Ensayes después de Película Delgada Rotatoria:					
- Pérdida por Calentamiento, %	1,0		1,0		8.302.33
- Viscosidad Brookfield, 60°C, Poises	Informar		Informar		8.302.24
- Penetración, % del Original	54		54		8.302.32

2.2.3 Mejoramiento del Asfalto con Caucho Reciclado de Neumático.

La disposición o uso final de las llantas desechadas de los neumáticos por el parque automotriz ha incrementado la problemática ambiental, debido a que éstos son incinerados o desechados en forma inapropiada, afectando el medio ambiente y la salud.

La inadecuada disposición final de este tipo de residuos ha incentivado en la búsqueda de alternativas de reciclado de los neumáticos en desuso a nivel mundial, de manera de reducir su impacto medioambiental. Es así como estudios realizados en varios países han analizado la factibilidad de usar el caucho molido de los neumáticos para incorporarlo en las mezclas asfálticas.

En Chile los neumáticos desechados tienen un grave impacto medioambiental, hasta ahora sin tratamiento eficaz.

En general, para utilizar el caucho proveniente de neumáticos en las mezclas asfálticas, previamente se debe triturar o desmenuzar en forma ambiental o criogénica.

2.2.3.1 El caucho molido de llantas usadas en los pavimentos asfálticos

La incorporación de caucho molido reciclado en mezclas asfálticas ha sido aceptada desde hace algunas décadas en varios países, los resultados obtenidos han sido de moderados a buenos en el desempeño de los pavimentos asfálticos.

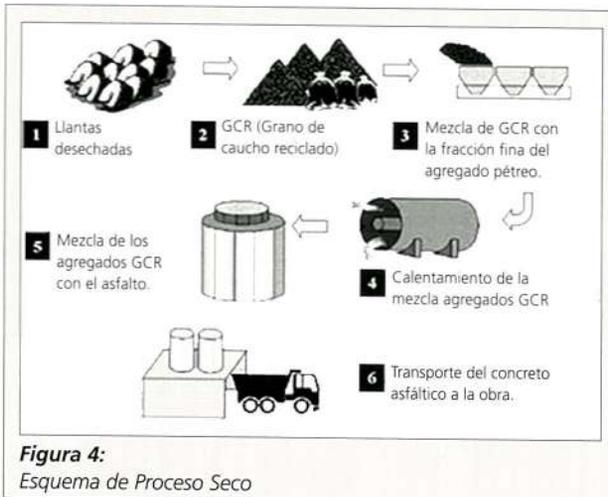
Las mejoras en las propiedades mecánicas y el incremento de la vida útil del mismo hace que la relación costo-beneficio sea mayor comparada con un pavimento con mezcla asfáltica convencional.

La utilización del caucho molido reciclado en los pavimentos, además de ayudar a la problemática medioambiental generada por los desechos de neumáticos, compuestos por caucho natural (látex) y caucho sintético (SBS, SBR) entregan al pavimento una mayor elasticidad y resistencia a la fatiga. Por otro lado, el negro de humo que estas contienen actúa como antioxidante en el ligante, atenuando su envejecimiento y por ende prolongando la capacidad cohesiva del mismo en el tiempo.

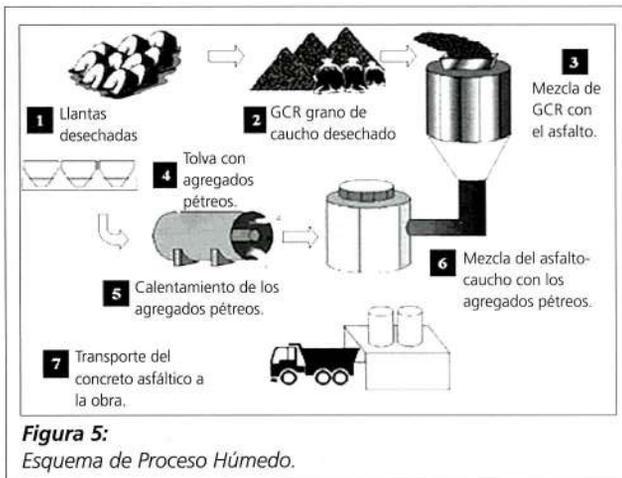
2.2.3.2 Incorporación del caucho molido reciclado en las mezclas asfálticas

La utilización del caucho molido reciclado en las mezclas asfálticas puede hacerse de dos formas diferentes, estos métodos de incorporación se denominan proceso seco y proceso húmedo (véase las Figuras 4 y 5).

Proceso Seco: Consiste en la incorporación del caucho molido reciclado como un árido. En este proceso el caucho molido reciclado sustituye en parte a la fracción fina de la mezcla, en un porcentaje entre 1% a 4% respecto al peso total de los agregados.



Proceso Húmedo: En el proceso húmedo el caucho molido reciclado es directamente mezclado con el ligante, para producir una mezcla asfalto-caucho, que se usa en igual forma que un ligante modificado. El porcentaje de caucho molido reciclado utilizado está entre 14% y 20%, respecto al peso total de la mezcla ligante asfalto-caucho, y varía según las características del ligante asfáltico.



Las especificaciones para el ligante tipo asfalto caucho para el proceso húmedo se describen en las Tablas siguientes.

Tabla N° 5: Requisitos de tamaño del caucho triturado en migas para proceso húmedo.

Granulometría		Porcentaje que pasa, %	
Tamices			
mm	ASTM	Mín.	Máx.
2.0	10	100	
0.85	20	60	100
0.63	30	50	90
0.30	50	0	45
0.08	200	0	5
(2) Contenido de Caucho Natural, %			30
(3) Densidad Relativa, Kg/dm ³		1.10	1.25

Tabla N° 6: Condiciones para la obtención del Ligante asfalto-caucho

Porcentaje	Requisitos	
	Mín.	Máx.
% en masa de Caucho a la mezcla total	14	20
Temperatura de Reacción de la mezcla, °C	180	210
Tiempo de Reacción (a Temperatura de Reacción), Hrs.	1	4

Tabla N° 7: Especificaciones para Ligante Asfalto-Caucho para proceso húmedo.

Ensayes	Especificación					
	Tipo I		Tipo II		Tipo III	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Brookfield, 175°C, Poises	1500	5000	1500	5000	1500	5000
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	25	75	25	75	50	100
Penetración, 4°C, 200 g, 60 s, 0,1 mm	10		15		25	
Resiliencia, 25°C, %	25		20		10	
Punto de Ablandamiento, °C	57.2		54.4		51.7	
Punto de Inflamación, °C	232.2		232.2		232.2	
Ensaye después de acondicionamiento en Horno de Película Delgada						
Penetración Retenida, 4°C, %	75		75		75	

Características del Clima para cada tipo de ligante asfalto-caucho:

Tipo I:

Temperatura Ambiente Maxima (Promedio Mensual): 43°C
 Temperatura Ambiente Mínima (Promedio Mensual): -1°C

Tipo II:

Temperatura Ambiente Maxima (Promedio Mensual): 43°C
 Temperatura Ambiente Mínima (Promedio Mensual): -9°C

Tipo III:

Temperatura Ambiente Maxima (Promedio Mensual): 27°C
 Temperatura Ambiente Mínima (Promedio Mensual): -9°C

2.3 ASFALTOS CORTADOS

Es un asfalto líquido y está compuesto por un Cemento Asfáltico y un solvente volátil, producto refinado del petróleo que puede ser bencina, kerosene, aceite. Los solventes utilizados funcionan como transporte del Cemento Asfáltico. El resultado de la mezcla de solventes con Cemento Asfáltico origina productos más fluidos que pueden ser aplicados a temperaturas más bajas que las aplicadas con Cemento Asfáltico original.

El solvente se agrega con el propósito de dar al asfalto la viscosidad necesaria para poderlo mezclar y trabajar con los áridos a baja temperatura. Una vez elaborada la mezcla los solventes se evaporan, dejando el residuo asfáltico que envuelve y cohesiona las partículas de agregado.

2.3.1 Asfaltos Cortados de Curado Rápido

Son aquellos Asfaltos Cortados cuyo solvente es bencina, se designan con las letras RC (Rapid Curing) seguidas con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centistokes.

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 8: Especificaciones para Asfaltos Cortados de Curado Rápido.

Tipo de Asfalto	RC - 70		RC - 250		RC - 800	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt 50°C, sSF	60	120				
Viscosidad Saybolt 60°C, sSF			125	250		
Viscosidad Saybolt 82°C, sSF					100	200
Punto de Inflamación, °C			27		27	
Agua, %	0,2		0,2		0,2	
Ensayo de destilación: % en Vol. del destilado						
190°C	10					
225°C	50		35		15	
260°C	70		60		45	
315°C	85		80		75	
% Residuo, 360 °C	55		65		75	
Ensaye realizados al Residuo de la Destilación						
Penetración, 25°C, 100g, 5 seg, 0,1 mm	80	120	80	120	80	120
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	Mínimo 100 cm para todos los grados					
Solubilidad en Tricloroetileno, %	Mínimo 99,0% para todos los grados					
Ensaye de la mancha, % Xilol	Negativo para todos los grados					

2.3.2 Asfaltos Cortados de Curado Medio

Son aquellos Asfaltos Cortados cuyo solvente es Kerosene (Parafina), se designan con las letras MC (Medium Curing) seguidas con un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centistokes.

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 9: Especificaciones para Asfaltos Cortados de Curado Medio.

Tipo de Asfalto	MC - 30		MC - 70		MC - 250		MC - 800	
Ensayes	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt 25°C, sSF	75	150						
Viscosidad Saybolt 50°C, sSF			60	120				
Viscosidad Saybolt 60°C, sSF					125	250		
Viscosidad Saybolt 82°C, sSF							100	200
Punto de Inflamación °C, sSF	38		38		66		66	
Agua, %	0,2		0,2		0,2		0,2	
Ensayo de destilación: % en Vol. del destilado								
190°C								
225°C		30		20		10		
260°C	40	70	20	60	15	55		35
315°C	75	93	65	90	60	87	45	80
% Residuo, 360 °C	50		55		67		75	
Ensayo realizados al Residuo de la Destilación								
Penetración, 25°C, 100G, 5 seg, 0,1 mm	120	250	120	250	120	250	120	250
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	Mínimo 100 cm para todos los grados							
Solubilidad en Tricloroetileno, %	Mínimo 99,0% para todos los grados							
Ensayo de la mancha, % Xilol	Negativo para todos los grados							

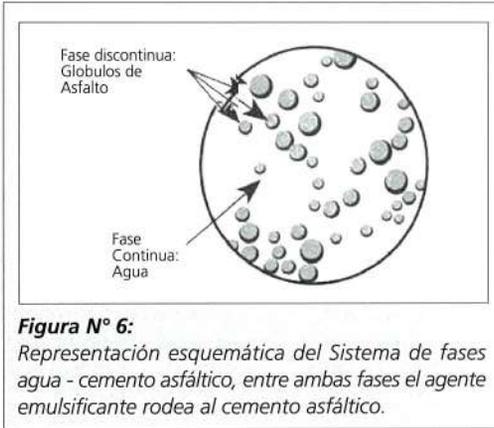
2.3.3 Asfaltos Cortados de Curado Lento

Son aquellos Asfaltos Cortados cuyo solvente es aceite, relativamente poco volátil, se designan con la letra SC (slow curing) seguidas con el número correspondiente a la viscosidad cinemática que tienen. Los SC más usados fueron los SC - 70 y SC - 250. Al grupo SC - 250 pertenece el combustible llamado "Bunker C", que fue muy usado en las carpetas de los caminos de la Zona Norte del país. Desde el año 1975 prácticamente ya no se usa en Chile y las Especificaciones del Volumen 8 del Manual de Carreteras lo ha discontinuado.

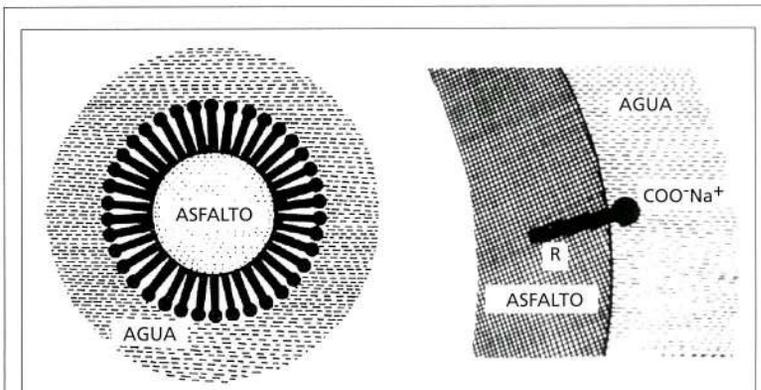
2.4 EMULSIONES ASFÁLTICAS

El uso de emulsiones se ha masificado debido a que no producen contaminación ya que el vehículo solvente que se evapora es agua, razón por la que los asfaltos cortados han ido desapareciendo.

La emulsión asfáltica es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles entre sí, como son asfalto y agua. Para mantener estable la emulsión, se incorpora una pequeña cantidad de un agente emulsificante, generalmente de base jabonosa o solución alcalina, el cual mantiene estable el sistema de las fase continua que es el agua, y discontinua constituida por pequeñísimos glóbulos de asfalto en suspensión, de un tamaño que fluctúa entre 1 y 10 micrones.



Los agentes emulsificantes forman una película protectora alrededor de los glóbulos de asfalto estableciéndoles una determinada polaridad en la superficie, lo que hace que éstos se repelan, manteniéndose estable la emulsión. Cuando una emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio eléctrico que rompe la emulsión llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie del agregado, y el agua fluye o se evapora separándose del agregado recubierto por el asfalto. Hay agentes emulsificadores que permiten que esta rotura o "quiebre" sea instantánea y otros más poderosos que retardan este fenómeno.



Nota:

Los agentes emulsificantes son compuestos químicos tensoactivos que permiten modificar la tensión interfacial agua-cemento asfáltico. Se sitúan en la interfase de ambos y evitan la coalescencia de los glóbulos de cemento asfáltico de la emulsión. Los agentes tensoactivos se caracterizan por poseer dos partes diferenciadas en su molécula, una parte grasa, lipófila o apolar con gran afinidad por el cemento asfáltico y otra parte hidrófila o polar que presenta gran afinidad por el agua. Esta doble característica permite situarse en la interfase cemento asfáltico-agua con la parte apolar integrada al cemento asfáltico y la parte polar en el agua.

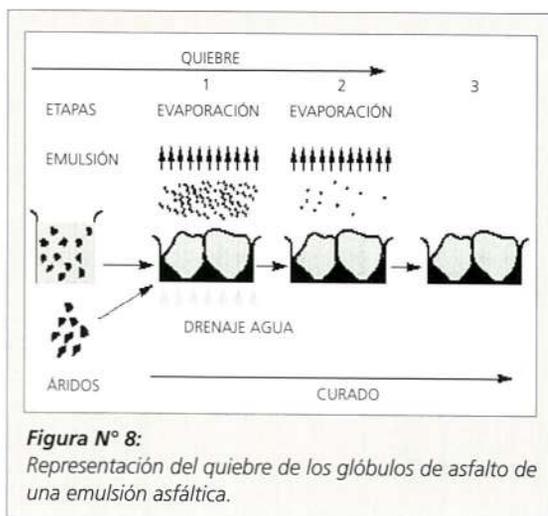
El tiempo de quiebre y la viscosidad de las emulsiones, dependen entre otros factores de la composición química, cantidad y calidad de los agentes emulsificantes.

El color de la emulsión asfáltica antes del quiebre es de color café y después del quiebre es de color negro, característica auxiliar para la inspección visual y constatación rápida de la buena condición del producto.

Las emulsiones asfálticas se clasifican según el tipo de carga y del tiempo de quiebre de la emulsión.

Como se sabe, existen áridos de polaridad positiva o negativa; por tanto, para tener una buena adherencia es necesario tener la emulsión eléctricamente afín al árido.

La Figura N° 8 representa el quiebre de la emulsión que consiste en la separación del agua del asfalto al entrar en contacto con los áridos (en esta primera etapa ocurre evaporación y drenaje de agua) y el curado de la emulsión que ocurre en una etapa posterior y nos indica que el sistema asfalto-árido está apto para su uso.

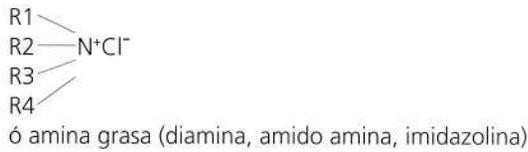


Se distinguen dos grandes grupos de emulsiones, de acuerdo a su carga eléctrica; que depende del tipo del agente emulsificante:

- Emulsiones Asfálticas Catiónicas que son de carga positiva afines a áridos de carga negativa, como son los de origen cuarzoso o silíceo, que son los que más abundan en nuestro país.
- Emulsiones Asfálticas Aniónicas que son las de carga negativa afines a áridos de carga positiva como lo son los de origen calizo.

2.4.1 Emulsiones Asfálticas Catiónicas

Los agentes emulsificantes empleados en la fabricación de emulsiones asfálticas catiónicas son normalmente sales de amonio cuaternario del tipo:



Los radicales R1, R2, R3 y R4 se sumergen dentro de los glóbulos de asfaltos y el nitrógeno N⁺ queda en la fase acuosa donde se disocian los iones Cl⁻ que es uno de los muchos que se pueden emplear en la práctica.

Las moléculas del agente emulsificante cubren completamente el glóbulo de asfalto, quedando cubierto de radicales positivos y actuando con esa polaridad. Las emulsiones catiónicas tienen especial afinidad por las superficies de áridos iónicamente negativo como son los áridos silicios (SiO₂).

En Chile, salvo excepciones, los áridos son iónicamente negativos. Por tanto las Emulsiones Asfálticas Catiónicas, son las más frecuentemente utilizadas en distintas operaciones. Las Emulsiones Asfálticas Catiónicas deben cumplir con las Especificaciones Técnicas descritas en la Sección 8.301, Acápites 8.301.4 y 8.301.5 del Volumen 8 del Manual de Carreteras.

Tipos de Emulsiones Catiónicas.

Dependiendo de su velocidad de quiebre, se clasifican en emulsiones de quiebre rápido, quiebre medio y quiebre lento.

Las nomenclaturas usadas son:

- Catiónicas de Quiebre Rápido (Cationic rapid setting): CRS - 1, CRS - 2
- Catiónicas de Quiebre Medio (Cationic medium setting): CMS - 1, CMS - 2, CMS - 2h
- Catiónicas de Quiebre Lento (Cationic slow setting): CSS - 1, CSS - 1h

El número 1 o 2 indica el grado de viscosidad de la emulsión. Si el residuo asfáltico de las emulsiones medias y lentas es de penetración 40-90 dmm se le agrega la letra "h" (CSS-1h, CMS-2h).

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 10: Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Catiónicas.

Tipo de Emulsión Catiónica	Quiebre Rápido				Quiebre Lento			
	CRS - 1		CRS - 2		CSS - 1		CSS - 1h	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol, 25°C, sSF					20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol, 50°C, sSF	20	100	100	400				
Estabilidad (1 día), %		1		1		1		1
Demulsibilidad, %	40		40					
Ensaye Carga Partícula	Positiva para todos los grados							
Ensaye de mezcla con cemento, %						2,0		2,0
Ensaye de Destilación								
aceite, %	3		3					
Residuo, %	60		65		57		57	
Ensaye realizados al Residuo de la Destilación								
Penetración, 25°C, 100 g, 5 seg	100	250	100	250	100	250	40	90
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	Mínimo 40 cm para todos los grados							
Solubilidad, %	Mínimo 97,5% para todos los grados							
Ensaye de la mancha, % Xilol	Negativo para todos los grados							

2.4.2 Emulsiones Asfálticas Aniónicas

Los agentes emulsificantes empleados en la fabricación de emulsiones aniónicas son normalmente oleatos de sodio o potasio del tipo $R-COO^- Na^+$ (ácidos grasos).

El radical R queda sumergido dentro de los glóbulos de cemento asfáltico y el grupo COO^- queda en la fase acuosa donde se disocia con cationes Na^+ .

Las moléculas del agente emulsionante cubren completamente el glóbulo de cemento asfáltico, quedando así tapizado de radicales negativos y actúan como si estuviera cargado negativamente.

La cubierta de carga negativa impide el contacto directo de los distintos glóbulos de asfalto, por lo que tienden a repelerse manteniendo estable la emulsión.

A causa de su carga negativa, los glóbulos de cemento asfáltico de una emulsión aniónica tienen especial afinidad por las superficies iónicamente positivas como son los áridos tales como calizas ($CaCO_3$), dolomitas y basaltos.

Tipos de Emulsiones Asfálticas Aniónicas

Según la proporción y tipos de agentes emulsificantes empleados, se obtienen emulsiones de mayor o menor rapidez de quiebre.

Se denomina quiebre a la velocidad con que las partículas de asfalto recubren el agregado pétreo separándose del agua. Dependiendo de la rapidez de su quiebre, las emulsiones se dividen en tres categorías:

- Emulsiones de Quiebre Rápido (RS - 1, RS - 2)
- Emulsiones de Quiebre Medio (MS - 1, MS - 2, MS - 2h)
- Emulsiones de Quiebre Lento (SS - 1, SS - 1h)

El número 1 o 2 indica el grado de viscosidad de la emulsión. Si el residuo asfáltico de las emulsiones medias y lentas es de penetración 40-90 dmm se le agrega la letra "h" (SS-1h, MS-2h).

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 11: Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Aniónicas.

Tipo de Emulsión Aniónica	Quiebre Rápido				Quiebre Lento			
	RS - 1		RS - 2		SS - 1		SS - 1h	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Min	Max	Min	Max
Viscosidad Saybolt Furol, 25°C, sSF					20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol, 50°C, sSF	20	100	100	400				
Estabilidad (1 día), %		1		1		1		1
Demulsibilidad, %	40		40					
Ensaye Carga Partícula	Negativa para todos los grados							
Ensaye de mezcla con cemento, %						2,0		2,0
Ensaye de Destilación								
aceite, %		3		3				
Residuo, %	60		65		57		57	
Ensaye realizados al Residuo de la Destilación								
Penetración, 25°C, 100 g, 5 seg, 0,1 mm	100	250	100	250	100	250	40	90
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	Mínimo 40 cm para todos los grados							
Solubilidad, %	Mínimo 97,5% para todos los grados							
Ensaye de la mancha, % Xilol	Negativo para todos los grados							

2.5 EMULSIONES ASFÁLTICAS ESPECIALES

2.5.1 Emulsiones Asfálticas de Quiebre Controlado

Existen Operaciones en Terreno donde el quiebre de la emulsión es fundamental para una buena ejecución. Para cumplir con los requerimientos se adiciona aditivos que regulan el quiebre. Como ejemplo podemos mencionar el caso de algunas emulsiones usadas en lechadas asfálticas.

Antes de realizar la mezcla, el estudio previo indicará la dosificación óptima de los materiales a utilizar. En algunas oportunidades, será necesario el empleo de emulsiones de quiebre controlado para el óptimo resultado de la dosificación con los demás materiales.

Los ensayos o requisitos para este tipo de emulsiones son los mismos a los realizados a una emulsión CSS-1h, CSS-1, SS-1h, SS-1 solamente cambia el tiempo de quiebre.

2.5.2 Emulsiones Imprimantes

Están especialmente diseñadas para realizar la imprimación en un amplio rango de materiales de bases compactadas y estabilizadas.

A diferencia de las emulsiones tradicionales, la emulsión imprimante penetra en la base granular en forma similar a una imprimación con asfalto cortado, permitiendo además una buena adherencia con la capa asfáltica.

La penetración exigida para la emulsión imprimante deberá ser $\geq 3\text{mm}$ y la dosis se debe ajustar de manera que en terreno quede como mínimo un 35% de residuo.

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 12: Especificaciones para Emulsiones Imprimantes.

Ensayos	Especificación	
	Mín.	Máx.
Viscosidad sSU a 25°C (s)	20	60
Densidad (kg/m ³)	960	980
Punto de inflamación (°C)	100	
Ensayo de Destilación		
- Residuo (%)	20	
- Aceite (%)		15
Ensayo realizado al residuo de la Destilación		
- Flotación a 50°C (s)	60	

• **Ventajas y Desventajas respecto a Asfaltos Cortados**

Es un producto de baja viscosidad, que permite temperaturas de aplicación menores a la imprimación tradicional; puede aplicarse a temperatura ambiente.

Se puede aplicar en bases granulares secas y húmedas. Posee características de seguridad de manipulación y transporte, a lo que se agregan comprobados beneficios ambientales por su bajo nivel de emanaciones.

Su rapidez de secado, habilidad de penetración y adherencia a bases granulares con distintos tipos de áridos, permite un intervalo de tiempo mucho más corto entre la imprimación y la aplicación de mezclas en caliente o tratamientos superficiales.

La Emulsión Imprimante no se dispersa en profundidad dentro de la base, pero su dispersión controlada es más compacta y produce una mayor impermeabilidad de la superficie de la base granular.

Previo al uso de la emulsión imprimante, se deberá analizar su compatibilidad con la base granular.

También es importante el tipo de base granular, si esta es cerrada o abierta ya que la penetración que tendrá en terreno la emulsión imprimante dependerá de las características de la base y del tamaño de los glóbulos de asfalto.

2.5.3 Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros

Para obtener un ligante asfáltico cuya flexibilidad sea la mayor posible, es necesario que el polímero tenga un alto grado de polimerización.

Estas emulsiones, en general, presentan excelente adhesividad frente a todo tipo de áridos y buena elasticidad a bajas y altas temperaturas, disminuyendo así los riesgos de fisuración en épocas frías y de exudación en épocas de calor, aumentando por consiguiente, el rango de temperaturas de servicio.

Se han desarrollado emulsiones de quiebre rápido modificadas con polímeros utilizadas en tratamientos superficiales y emulsiones de quiebre lento modificadas con polímeros que son utilizadas en lechadas asfálticas y emulsiones de quiebre controlado modificadas con polímeros utilizadas en microaglomerados en frío.

En las siguientes Tablas se indican las especificaciones que deben cumplir estos ligantes asfálticos.

Tabla N° 13: Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Modificadas con Polímeros.

Ensayes	Especificación	
	Quiebre Rápido	Quiebre Lento
Viscosidad Saybolt, 25°C, sSF		20 – 100
Viscosidad Saybolt, 50°C, sSF	50 – 250	
Sedimentación, 7 días, %	Máx. 5	Máx. 5
Carga de partículas	Positiva o negativa	
Residuo Asfáltico por Evaporación, %	Mín. 65	Mín. 57
Ensaye realizado al residuo de la Evaporación		
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	50 – 150	50 – 150
Punto de Ablandamiento, °C	Mín. 50	Mín. 53
Recuperación Elástica a 13°C, %	Mín. 50	Mín. 50
Punto de Quiebre Fraass, °C	Máx. – 17	Máx. – 17
Índice de Penetración	Mín. + 1	Mín. + 1
Ensaye Placa Vialit, %	Mín. 90	-

Tabla N° 14: Especificaciones para Emulsiones Asfálticas de Quiebre Controlado Modificadas con Polímeros.

Ensaye	Especificación	
	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol (25°C), sSF	20	50
Sedimentación (7 días), %		5
Tamizado, %		0,1
Carga de Partícula	Positiva o Negativa	
Residuo Asfáltico por Evaporación, %	62	
Ensaye realizado al residuo de la Evaporación		
- Viscosidad Brookfield (60°C)	Informar	
- Penetración. 25°C, 100 gr, 5s, 0,1 mm	40	90
- Punto de Ablandamiento	Informar	
- Ductilidad (25°C, 5 cm/seg), cm	40	
- Índice de Fraass, °C		-17
- Recuperación Elástica por Torsión, %	Informar	
- Recuperación Elástica, 13°C, 20 cm, 1 hora, %	20	

2.5.4 Emulsiones Asfálticas Especiales para Riego de Liga

Esta emulsión especialmente fabricada para riego de liga no necesita ser diluida con agua o solvente, sino que se utiliza tal cual es fabricada por el proveedor y colocada en terreno, siguiendo los requisitos de colocación descrito en 5.302 del Volumen 5 del Manual de Carreteras o 7.304 del Volumen 7 del Manual de Carreteras.

En la siguiente Tabla se indican las especificaciones que deben cumplir actualmente estos ligantes asfálticos, las cuales se encuentran en estudio.

Tabla N° 15: Especificaciones para Emulsiones Asfálticas especiales para Riego de Liga.

Ensaye	Especificación	
	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol (25°C), sSF	20	100
Estabilidad (24 hrs), %		5
Carga de Particula	Positiva	
Residuo Asfáltico por Destilación, %	57	
Ensaye realizado al residuo de la Destilación		
- Viscosidad Brookfield (60°C)	Informar	
- Penetración. 25°C, 100 gr, 5s, 0,1 mm		70
- Ductilidad (25°C, 5 cm/seg), cm	Informar	
- Solubilidad, %	Informar	
- Ensaye de la Mancha, % de Xilol	Informar	

2.5.5 Emulsiones Asfálticas Sintéticas de Color

Esta tecnología se consigue a partir de un producto sintético transparente en reemplazo del cemento asfáltico convencional, mezclado con pigmentos que le otorgan color.

Estas emulsiones sintéticas se pueden mezclar con áridos de diferentes granulometrías dando origen a los pavimentos de color.

El desarrollo de los pavimentos de color están avalados por criterios de seguridad vial y medioambientales.

• Bondades del Color

El color es una forma de llamar la atención para comunicar situaciones de peligro, seguridad, tranquilidad, etc. En relación con las operaciones viales, existe un código cromático internacional para regular el tránsito y la seguridad vial. En las señales de tráfico, el color de fondo cataloga el tipo de información de la señal, así por ejemplo un fondo de color azul es de una señal informativa, un fondo de color amarillo es una indicación de precaución o naranja es precaución por trabajos en el camino, etc.

Las marcas viales horizontales también están definidas, no solo por el color, sino también por tipo de trazo, línea continua, línea discontinua, isletas, pasos de cebra, etc. Se podría seguir enumerando diferentes ejemplos en los que el color cumple una misión específica y muy concreta en nuestro entorno vial.

El interés en esta tecnología ha sido desarrollada por condiciones de seguridad vial y medioambientales, que han obligado a encontrar otras soluciones para cambiar el “fondo negro” de los pavimentos convencionales.

· Aplicaciones y Tonalidades

Estas emulsiones de color son utilizadas en la fabricación de lechadas cuando la aplicación es realizada en zonas urbanas de bajo tráfico o micropavimentos en frío en zonas de mayor exigencias como avenidas y carreteras.



· Especificaciones para Emulsiones Sintéticas de Color

Las emulsiones de color deben cumplir los requisitos necesarios dependiendo del tipo de mezcla en la cual se utilizará. Si se fabrica una lechada, deberá cumplir con los requisitos de quiebre lento. Si se fabrica un microaglomerado en frío, deberán cumplir con los requisitos de una emulsión de quiebre controlado modificada con polímero.

The following text is a scan of a document page. It contains several lines of text, some of which are partially obscured or cut off. The text appears to be a list or a series of entries, possibly related to a technical or scientific study. The page number '11' is visible in the top left corner.

The text is arranged in a vertical column, with each line starting from the left margin. The lines are separated by small gaps, suggesting a list or a series of entries. The text is somewhat blurry and difficult to read, but it appears to contain several lines of text.

The text is as follows:

11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23

Capítulo III

MUESTREO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

Resumen del Método 8.302.1 del Volumen 8 del Manual de Carreteras

3.1 ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este método se aplica al muestreo de materiales bituminosos líquidos, semisólidos o sólidos y sellos de juntas.

Las muestras se pueden tomar de estanques, acopios, vehículos o contenedores usados para almacenamiento o despacho de materiales bituminosos.

El muestreo es tan importante como el ensayo y las muestras se deben tomar por los métodos descritos más adelante para cumplir cualquiera de los dos propósitos siguientes:

- Representar fielmente un promedio de todo el material muestreado, o
- Determinar la variación máxima de las características del material.

3.2 MUESTREO DE MATERIALES

El mínimo de muestras para análisis y cantidad de cada una de ellas deben ser los que se indican en la siguiente Tabla, para cada tipo de asfalto o sello de junta.

Tabla N° 16: Indicaciones para Muestreo según Tipo Material.

Tipo de Asfalto	Procedencia	Número de Muestras	Cantidad de cada muestra	Nivel de extracción
Cemento asfáltico Tradicional y Modificado	Camión Transportador	3	1 kg	Inicio, mitad y término del vaciado
	Estanque de Almacenamiento	3	1 kg	Superior, intermedio e inferior
	Barriles o Tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 8.302.1C)	2 kg	Núcleo
Asfalto cortado	Camión transportador	3	1 lt	Inicio, mitad y término del vaciado
	Estanque de almacenamiento	3	1 lt	Superior, intermedio e inferior
	Barriles o tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 8.302.1C)	2 lt	Núcleo
Emulsión Asfáltica Tradicional, Modificada e Imprimante	Camión transportador	3	1 lt	Inicio, mitad y término del vaciado
	Estanque de almacenamiento	3	1 lt	Superior, intermedio e inferior
	Barriles o Tambores	1 por cada unidad seleccionada	2 lt	Núcleo
Sellos de juntas	Cajas, Barriles o Tambores	1 por cada unidad seleccionada	2 kg	Núcleo

Envases para Muestras: según el tipo de material los envases serán de lata o plástico, en la siguiente tabla se indica el tipo de envase para cada caso.

Tabla N° 17: Tipos de Envases para Muestreo

Tipo de Asfalto	Tipo de Envase
Cemento Asfáltico Tradicional y Modificado	Lata de boca ancha con tapa a presión
Asfalto Cortado	Lata de boca angosta con tapa rosca
Emulsión Asfáltica Tradicional, Modificadas e Imprimante	Recipiente plástico de boca ancha con tapa rosca
Sellos de Juntas	Lata de boca ancha con tapa a presión

Nota:

- El tamaño del envase corresponderá a la cantidad requerida por la muestra.
- La muestra de sello de junta no debe ser calentada.

3.3 ETIQUETACIÓN, PROTECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

Los envases para muestras deben ser nuevos. No se deben lavar, enjuagar ni secar con telas engrasadas. No se deben usar si contienen evidencias de fundente de soldadura y/o si no están limpios ni secos.

Los recipientes deben cerrar herméticamente, inmediatamente después de llenados ya que se debe evitar que la muestra se contamine.

El envase lleno con la muestra no se debe sumergir en solvente, ni secar con un paño saturado en solvente. Si es necesario limpiarlo, se debe usar un paño limpio y seco.

Las muestras de emulsión asfáltica deben ser protegidas del congelamiento mediante un correcto embalaje.

No se debe trasvasijar las muestras de un envase a otro, excepto por procedimiento de muestreo, ya que sus características se pueden alterar durante el traspaso, o se pueden contaminar. Inmediatamente después de llenar, cerrar herméticamente y limpiar. Los envases se deben marcar para su identificación, con una tinta indeleble, en el recipiente mismo y no sobre la tapa. Se deben utilizar etiquetas para la identificación, firmemente adheridas a los envases de tal manera de estar seguro que no se desprenderán durante el transporte.

Tanto las marcas como las etiquetas deben llevar la siguiente información:

- Nombre Contrato u Obra.
- Nombre de la Empresa Contratista.
- Proveedor y/o procedencia del asfalto.
- Número y fecha de la Guía de Despacho.
- Tipo de asfalto.
- Sistema de acopio.
- Número y nivel de extracción de la muestra.
- Fecha de muestreo.
- Nombre responsable del muestreo.

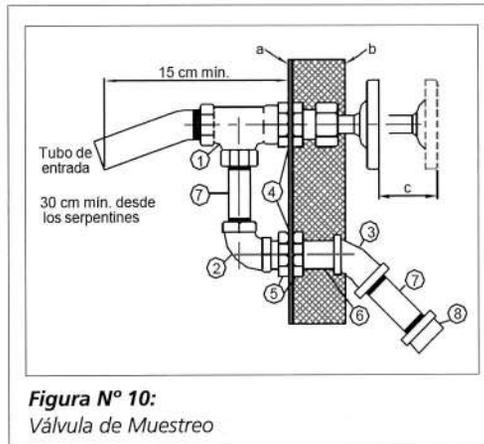
3.4 MÉTODOS DE MUESTREO

3.4.1 Muestreo en Lugar de Producción

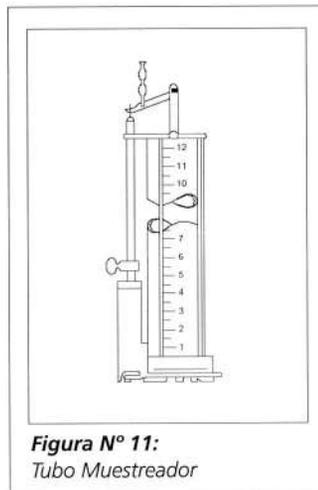
Muestreo de materiales líquidos o licuados por calentamiento.

A. De estanques de almacenamiento a granel, no equipados con agitadores mecánicos.

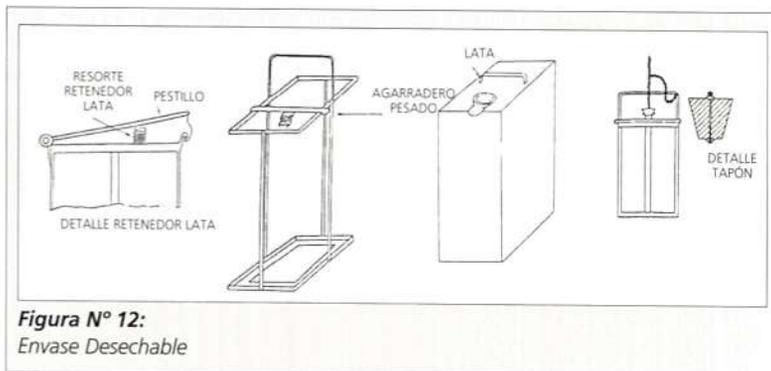
- a. **Método de estanque con llave:** Usando válvulas o perforaciones en la parte superior, intermedia e inferior del estanque, extraer de 1 a 2 Kg de muestra en cada punto, después de drenar un mínimo de 4 litros de material desde cada uno de ellos.



- b. **Método de tubo muestreador:** (No apropiado para cementos asfálticos). Se toman muestras en el nivel superior, intermedio e inferior del estanque, por medio de un tubo muestreador que se hace descender a través del material.



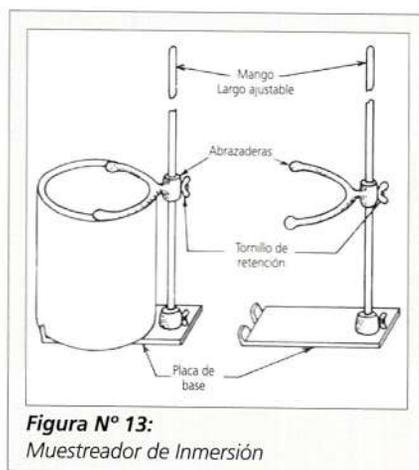
- c. **Método del envase desechable:** Las muestras se deben tomar en el nivel superior, intermedio e inferior del estanque, bajando su dispositivo de retención y peso adecuado, dentro del material.



Las tres muestras del estanque de almacenamiento a granel se pueden ensayar separadamente para detectar la existencia de estratificación, o se pueden combinar, mezclándolas rigurosamente y obtener de ahí una muestra de 1 a 2 Kg. cuando se requieran determinar las características promedio del material.

B. Estanque de Almacenamiento a granel equipado con agitador mecánico.

Cuando el muestreo se realiza de estanque equipado con agitadores de mando mecánico y se note homogeneidad en el contenido, a través de la escotilla de observación o de muestreo, es suficiente, para propósitos de análisis, tomar una sola muestra por los métodos descritos anteriormente.



Nota:

El muestreador con abrazadera fija en el lugar se baja rápidamente al tanque, a la profundidad deseada, y se llena con la muestra. Luego se saca del estanque y el contenido se transfiere al contenedor de muestra. Un contenedor limpio debe usarse por cada muestra.

3.4.2 Muestreo desde Camiones Distribuidores y Estanques de Almacenamiento

Cada vehículo suministrador debe estar equipado con una válvula para toma de muestra, la que debe ser instalada a lo menos 30 cm del casco y estar claramente etiquetada como "válvula de muestreo". Antes de sacar la muestra de la válvula de muestreo, se debe dejar fluir y desechar un mínimo de 4 litros.

Cuando el usuario lo permita, se pueden utilizar los siguientes métodos para obtener muestras representativas.

Se pueden obtener muestras de materiales líquidos o materiales licuados por calentamiento, por el método de inmersión, usando una lata limpia de tapa a presión o de boca angosta en un agarrador apropiado. Se debe usar un recipiente limpio para tomar cada muestra, y el material muestreado se debe traspasar a un recipiente nuevo y limpio, para ensaye y/o contramuestra.

Se puede insertar en la línea de descarga, un dispositivo desmontable de diseño similar al que se muestra en la Figura N° 14. Antes de tomar la muestra se debe dejar escurrir y desechar un mínimo de 4 litros.

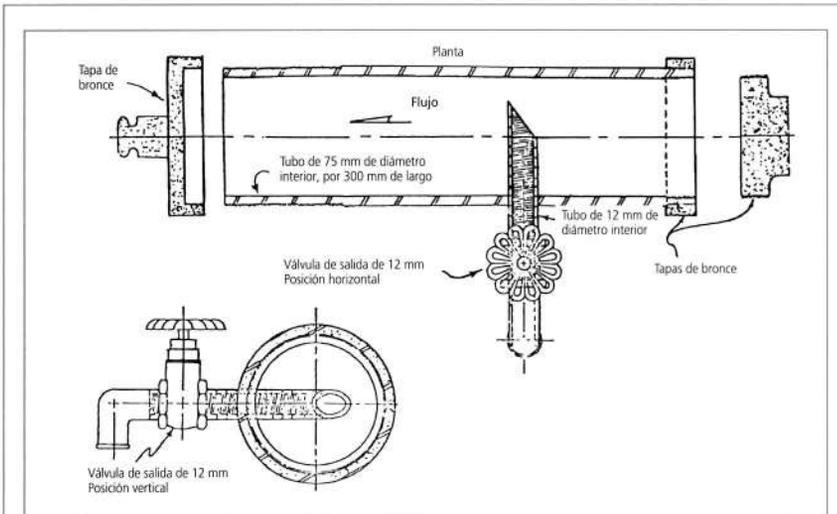


Figura N° 14:
Dispositivo Típico para muestrear asfaltos líquidos desde transportes

Nota:

La válvula de salida se instala preferentemente en forma vertical, éste artefacto puede ser suministrado por el proveedor del ligante asfáltico. El dispositivo se coloca en la línea de descarga, en forma transitoria o permanente.

3.4.3 Muestreo de Tambores o Barriles

Para el muestreo de ligantes asfálticos líquidos, se debe seleccionar un número de barriles al azar, de acuerdo con el procedimiento que se describe en 3.4.4 "Muestreo de materiales semisólidos o sólidos sin chancar". Se mezcla rigurosamente el contenido del barril y se extrae una muestra de 2 Kg. usando un tubo muestreador.

3.4.4 Muestreo de Materiales Semisólidos o Sólidos Sin Chancar.

Las muestras pueden venir en: tambores, barriles, cartones y bolsas. Cuando el lote de material a ser muestreado es de una sola partida de producción, se selecciona un paquete al azar, para luego extraer la muestra como se describe más adelante.

Cuando el lote de material a ser muestreado no es de una sola partida o cuando la muestra única seleccionada no cumple las especificaciones, se selecciona un número de paquetes al azar equivalente a la raíz cúbica del número total de paquetes en el lote.

Tabla N° 18: Unidades por Extraer según Tamaño del Lote.

Tamaño del Lote (N° De Unidades)	N° de Unidades por Extraer
2 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 216	6
217 a 343	7
344 a 512	8
513 a 729	9
730 a 1000	10
1.001 a 1.331	11

La muestra de los tambores seleccionados se debe tomar por lo menos a 80 mm bajo la superficie y por lo menos a 80 mm del costado del envase. Se puede usar un hacha pequeña si el material está lo suficientemente duro como para astillarse y una espátula ancha si el material está blando.

Cuando se muestrea más de un envase de un lote, cada muestra individual no pesará menos de 1 Kg.

Cuando el lote de material es de una misma partida de producción, todas las muestras de ese lote se funden y mezclan bien y se toma una muestra de 1 kg del material combinado. Siempre y cuando dicho procedimiento no altere las propiedades originales del material.

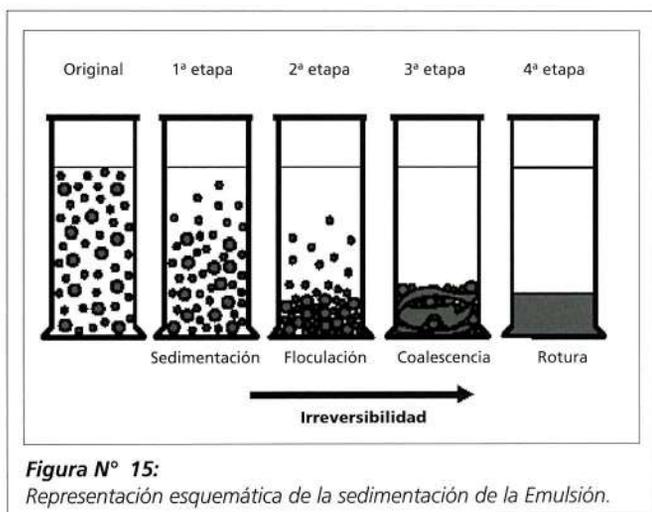
En caso de que haya más de una partida de producción y éstas pueden ser claramente diferenciadas, se prepara una muestra compuesta de 1 kg para analizar cada partida. Cuando no sea posible diferenciar entre las diversas partidas, cada muestra se debe examinar separadamente.

3.4.5 Precauciones en el almacenamiento de la Emulsiones Asfálticas

Durante el almacenamiento de la emulsión, se produce sedimentación.

Posteriormente, aparece la floculación, caracterizada porque las micelas se ponen en contacto, pero aún están parcialmente protegidas por la película del agente emulsificante y mantienen su forma. Después de este fenómeno aparece la coalescencia que es un proceso irreversible de unión de las miscelas.

Tras la coalescencia la separación se acelera dando lugar al quiebre o rotura y separación de las fases de la emulsión.



Factores determinantes en la estabilidad de almacenamiento de la emulsión asfáltica son su viscosidad, densidad de ambas fases y del tamaño de partícula.

Entre las condiciones que aceleran el proceso de quiebre de una emulsión se encuentran los almacenamientos a baja temperatura o la alta diferencia de temperatura.

Importante:

Debido a la aceleración del quiebre de las emulsiones a bajas temperatura, éstas se deben almacenar a temperaturas mayores de 5°C, sobre todo en climas fríos o de grandes variaciones térmicas. Es recomendable en algunos casos que los estanques de almacenamiento de las emulsiones se encuentren enterrados bajo tierra (al menos medio metro), para impedir que las temperaturas ambientales quiebren la emulsión.

CERAMTULLO IIV

Capítulo IV

TIPO DE ASFALTO A EMPLEAR DE ACUERDO A SU APLICACIÓN

Las características del ligante asfáltico a emplear en un determinado Contrato, dependen del objetivo de cada operación de dicha obra: tipo de pavimento, clima del sector, características de los agregados y de la intensidad del tránsito.

Los ligantes asfálticos se utilizan en:

- Riegos Asfálticos
- Capas Asfálticas de Protección
- Capas Asfálticas Estructurales
- Capas Asfálticas Especiales

La descripción de los métodos constructivos para cada aplicación descrita en éste capítulo, serán realizadas en el Volumen "Mezclas Asfálticas" del Libro de Cursos de Laboratoristas Viales.

4.1 RIEGOS ASFÁLTICOS

Los riegos asfálticos son aplicaciones delgadas y uniformes de algún tipo de ligante asfáltico.

Tabla N° 19: Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Riegos Asfálticos.

Tipo de Ligante	Ligante	Imprimación	Imprimación Reforzada	Riego de Liga (Tack Coat)	Riego Neblina	Sello Negro (Fog Seal)	Matapolvo
Asfaltos	MC-30	X	X				
Cortados	MC-70	X	X				
	RC-250		X				
Emulsiones Asfálticas	CRS-2		X				
	CRS-1						
	CSS-1, SS-1			X	X	X	X
	CSS-1h, SS-1h			X	X	X	X
Emulsiones Asfálticas Especiales	Emulsión Imprimante	X	X				
	Emulsión Asfáltica para Riego de liga			X			

4.2 CAPAS ASFÁLTICAS DE PROTECCIÓN

Los Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Capas de Protección son descritos en la siguiente Tabla.

Tabla N° 20: Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Capas de Protección

Tipo de Ligante	Ligante	Sello Bituminoso	Lechada Asfáltica	Microag. en Frío	Tratamiento Superficial		
					Simple	Doble	Múltiple
Cementos	CA 120/150	X			X	X	X
Asfálticos	CA 200/300	X			X	X	X
Emulsiones	CRS-2	X			X	X	X
	CRS-1	X			X	X	X
	CSS-1, SS-1		X				
	CSS-1h, SS-1h de quiebre controlado		X				
Emulsiones Modificadas con polímero	de quiebre rápido	X			X	X	X
Emulsiones sintéticas	de quiebre lento		X				
	de quiebre controlado		X	X			
	Emulsiones con Color		X	X			

Importante:

Si la bases granular tiene polaridad positiva se deben utilizar las emulsiones aniónicas.

4.3 CAPAS ASFÁLTICAS ESTRUCTURALES.

Las capas asfálticas estructurales son aquellas que, por condiciones de mezcla y espesor, forman una estructura resistente considerando su espesor en el diseño de un pavimento flexible.

Los Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Capas Estructurales son descritos en la siguiente Tabla.

Tabla N° 21: Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Capas Estructurales.

Tipo de Ligante	Ligante	Carpeta Asfáltica de Rodado	Carpeta Intermedia o Binder	Capa Base Asfáltica Gruesa	Capa Base Asfáltica Abierta
Cementos	CA 24	X	X	X	X
Asfálticos Originales	CA 14	X	X	X	X
Cementos Asfálticos Modificados	CA 60/80 E	X	X	X	X
	CA 80/100 E	X	X	X	X
	CA Multigrado	X	X	X	X
Cementos Asfálticos Modificados con Caucho	Asfalto - caucho	X			

4.4 CAPAS ASFÁLTICAS ESPECIALES.

Las capas asfálticas especiales son aquellas que por el uso de las nuevas metodologías y condiciones de los áridos, forman estructuras especialmente diseñadas para un objetivo o propósito específico.

Los Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Capas Asfálticas Especiales se describen en la siguiente Tabla.

Tabla N° 22: Tipos de Ligantes Asfálticos a emplear en Capas Especiales.

Tipo de Ligante	Ligante	Asfaltos Espumados	Mezclas Drenantes	Stone Mastic Asphalt	Microaglomerados Discontinuos en Caliente
Cementos	CA 24			X	
Asfálticos	CA 14	X		X	
	CA 120/150	X			
Cementos	CA 60/80 E			X	
Asfálticos Modificados	CA 80/100 E			X	
	CA Multigrado			X	
	CA 60/80 E Especial		X *		X *

Nota *:

Debe cumplir lo descrito en Tabla 5.414.202.A.

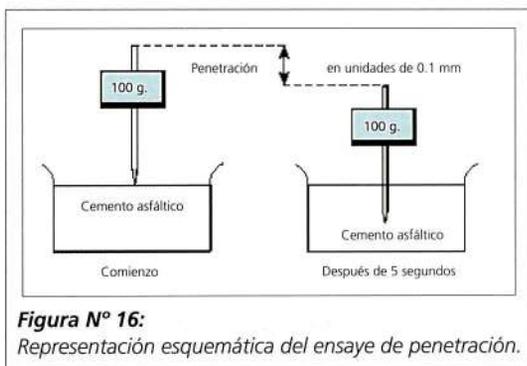
Capítulo V

Capítulo V

MÉTODOS DE ENSAYES REALIZADOS A LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

5.1 ENSAYE DE PENETRACIÓN (8.302.3 V.8 M.C.)

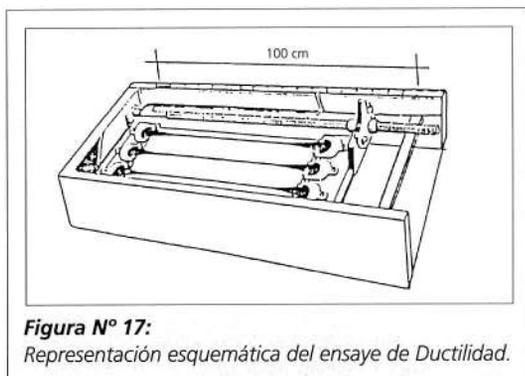
Objetivo: Este método describe un procedimiento para determinar el grado de dureza de un ligante asfáltico, mediante el uso de un equipo denominado penetrómetro. Este mide la profundidad de penetración, efectuada con una aguja estándar que cae verticalmente dentro de una muestra, bajo condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo.



Resumen del método: Acondicione la muestra en un baño de agua termostatzado a 25°C. Compruebe que la aguja esta en perfectas condiciones antes de usar. Coloque una masa sobre la aguja, obteniendo una masa total de $100 \pm 0,1$ g. Coloque la muestra en el penetrómetro y la aguja en contacto con la superficie, (ver Figura N°16) y deje caer el vastago durante 5 segundo. La penetración es la distancia en unidades de 0.1 mm que la aguja penetra en el el ligante asfáltico. Haga tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados. Si la penetración es mayor que 200 dmm, use un mínimo de tres agujas, dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.

5.2 ENSAYE DE DUCTILIDAD (8.302.8 V.8 M.C.)

Objetivo y alcance: Mide la resistencia a la ruptura por medio del alargamiento en un equipo llamado Ductilímetro. La ductilidad de un ligante asfáltico es la longitud en cm, que se alarga o elonga hasta romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra de ligante asfáltico, se estira a velocidad y temperatura específica.



Resumen del Método:

Preparación del Molde: Arme el molde sobre una placa base, cubra cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados desmontables del molde con una película delgada de desmoldante para prevenir que el material por ensayar se adhiera.

Moldeo de las muestras para el ensaye: Vierta el material dentro del molde y recorte el exceso de ligante asfáltico con una espátula o cuchillo caliente de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado. Se acondiciona la muestra en un baño de agua termostatzado a 25°C.

Ensaye: Enganche las briquetas a las clavijas del ductilímetro y sepárelas a velocidad constante de 5 cm/min, hasta la ruptura de la muestra. La elongación en cm a la cual la muestra se corta se define como ductilidad del asfalto.

5.3 ENSAYE DE PUNTO DE INFLAMACIÓN (8.302.9 V.8 M.C.)

Objetivo y alcance: El método define la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para cementos asfálticos y la copa Tag, para el ensayo de asfaltos cortados.

El punto de inflamación ocurre por el desprendimiento de los vapores o compuestos volátiles del cemento asfáltico o asfalto cortado. Éstos compuestos son combustibles, es decir reacciona en presencia de oxígeno y una llama.

Resumen del Método: Llene la copa a una temperatura conveniente por encima del punto de ablandamiento, es decir, que el ligante asfáltico se encuentre fluido. Ajuste la llama de prueba al diámetro de referencia del equipo. Cuando la temperatura sea de 55°C bajo el punto de inflamación especificado regule la velocidad entre 5 a 6°C por min. Aplique la llama de prueba cada 2°C sucesivos leídos en el termómetro. Pase la llama de prueba a través del centro de la copa, con suavidad. Anote la temperatura en la cual observa la primera ignición de los vapores combustible.

5.4 ENSAYE DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO (8.302.16 V.8 M.C.)

Objetivo y alcance: Es un método utilizado para determinar el cambio de estado de semisólido a líquido de los ligantes asfálticos, usando un aparato de anillo y bola.

El punto de ablandamiento es la menor temperatura a la que una muestra, suspendida en un anillo horizontal de dimensiones específicas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero, mientras la muestra se calienta mediante incrementos controlados de temperatura en un baño de agua o glicerina.

Resumen del Método: Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de vertido, coloque la muestra caliente dentro del anillo. Enfríe la muestra y corte el exceso de material con una espátula o cuchillo ligeramente caliente.

Ensamble el aparato con los anillos, el termómetro y la guía para centrar las bolas en medio de la muestra. Llene el baño con agua. Mantenga la temperatura del baño a 5°C durante 15 min. Coloque una bola en cada una de las guías de centrado. Aplique calor de tal manera que la temperatura del líquido aumente con una velocidad uniforme de 5°C por min.

Anote para cada anillo y bola la temperatura indicada por el termómetro, en el instante que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior.

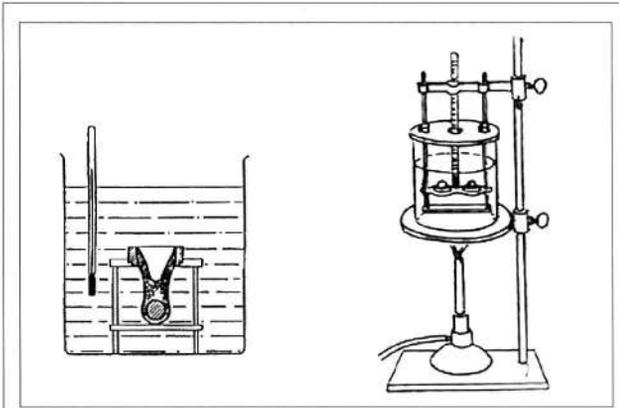


Figura N° 18:
Representación esquemática del ensaye de Punto de Ablandamiento y detalle del punto de ablandamiento de una muestra.

5.5 ENSAYE DE VISCOSIDAD

Es una de las propiedades más importantes de un fluido, siendo la resistencia que presenta el mismo a fluir. Un fluido de baja viscosidad, en la mismas condiciones de presión y temperatura, fluiría más fácilmente que otro de mayor viscosidad. La viscosidad se define como el frotamiento interno entre las moléculas del fluido cuando se deslizan una sobre otras.

Por causa de la viscosidad, es necesario ejercer una fuerza para que una capa líquida se deslice sobre otra, en un movimiento laminar.

La viscosidad es una medida de la facilidad con que se efectúa este deslizamiento. Esta es una propiedad que depende de la estructura molecular del fluido, determinado por el tipo y magnitud de las fuerzas intermoleculares presentes y su relación con la temperatura.

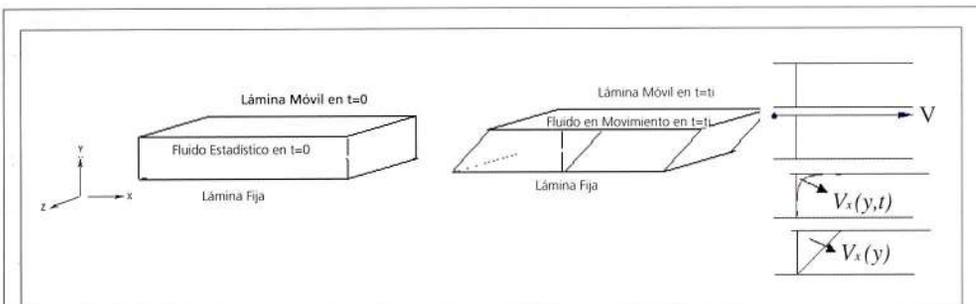


Figura N° 19:
Representación del desplazamiento del fluido confinado entre una placa fija y otra móvil de igual área A , al aplicar una fuerza F .

Experimentos de flujo de líquidos, muestran que la fuerza de fricción, F_s (Fuerza que se opone al movimiento del fluido), originada entre 2 capas paralelas de líquido, depende de:

- el área de contacto A_s , entre las capas,
- el esfuerzo de corte realizado entre las capas; que se describe como:

$$\tau_{yx} = \frac{F_s}{A_s}$$

El esfuerzo de corte depende de:

- el gradiente de velocidad de corte ($-dv_x/dy$) entre las capas,
- y del coeficiente de viscosidad, μ

$$\tau_{yx} = -\mu \cdot \frac{dv_x}{dy} \quad (\text{Ley de Viscosidad de Newton})$$

Fluidos Newtonianos y No Newtonianos:

De acuerdo a la Ley de Newton, cuando se representa τ versus $-dv/dy$, se obtiene una línea recta que pasa por el origen de las coordenadas cartesianas, éste corresponde a un fluido Newtoniano, cuya pendiente corresponde a la viscosidad intrínseca del fluido.

Aquellos fluidos que al graficarse no forman una recta, corresponden a los fluidos no newtonianos y el estudio de sus comportamientos corresponden a la ciencia de la reología; la cuál corresponde a la ciencia que estudia el flujo y la deformación.

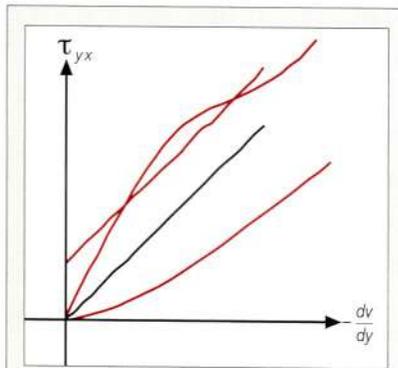


Figura N° 20:
Representación de los Modelos
Newtonianos y los no Newtonianos

Viscosidad Absoluta: La razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de corte se llama coeficiente de viscosidad; este coeficiente es una medida de la resistencia a fluir del líquido. Comúnmente se denomina viscosidad del líquido. La unidad cgs de la viscosidad es 1 gr/cm-seg y se denomina poise (P).

La unidad SI de viscosidad es 1 Pa·seg, (1 N·seg/m²), y es equivalente a 10 Poise. Comúnmente se usa el centipoise (1CP=10⁻²p).

Viscosidad Cinemática: Para un flujo por gravedad dado por una carga hidrostática, la presión de carga hidrostática de un líquido es proporcional a su densidad (ρ). Para un viscosímetro en particular, el tiempo de flujo para un volumen fijo de líquido es directamente proporcional a su viscosidad cinemática ($\nu = \mu/\rho$), donde μ es el coeficiente de viscosidad. La unidad cgs de la viscosidad cinemática es 1 cm²/seg llamada 1 Stokes.

La Unidad SI de Viscosidad Cinemática es 1 m²/seg, y es equivalente a 10⁴ St.

Comúnmente se usa el centístoke (1cSt = 10⁻² St).

Conversión entre coeficiente de viscosidad absoluta (μ) y viscosidad cinemática (ν):

$$\mu = \rho \cdot \nu$$

Donde μ (poise) es la viscosidad absoluta, ρ (g/cm³) es la densidad del asfalto y ν (cst) viscosidad cinemática.

Densidad: Masa por unidad de Volumen del líquido. La unidad cgs de densidad es g/cm³ y la unidad SI de densidad es Kg/m³.

5.5.1 Ensaye para determinar la Viscosidad Absoluta mediante Viscosímetros Capilares de Vacío (8.302.15 V.8 M.C.)

Objetivo: Este método describe un procedimiento para determinar la viscosidad absoluta de los cementos asfálticos a través de viscosímetros capilares de vacío a 60°C.

Resumen del Método: Seleccione un viscosímetro limpio y seco para un tiempo de flujo mayor de 60 seg. Cargue el viscosímetro vertiendo la muestra caliente hasta la línea de llenado. Inserte el viscosímetro en el asidero del baño en posición vertical, tal que la marca superior para determinar el tiempo esté al menos 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.

La temperatura del baño se encuentra a 60°C. Espere el tiempo suficiente para que la temperatura de la muestra se homogenice.

Encienda el sistema de vacío a 300 ± 0,5 mm de Hg, conectado al viscosímetro. Comience con el flujo de asfalto en el viscosímetro abriendo la válvula de la línea de vacío. Mida el tiempo que demora en pasar entre dos meniscos sucesivos de marcas de tiempo del viscosímetro.

Cálculo: Seleccione el factor de calibración del viscosímetro correspondiente, en el par de marcas de tiempos usado. Calcule e informe la viscosidad para tres pares de marcas del capilar usando la siguiente ecuación:

$$\mu \text{ (Poise)} = K \cdot t$$

Donde K es el Factor de calibración seleccionado (poises/s) y t es el Tiempo de flujo (s) para cada par de marcas.

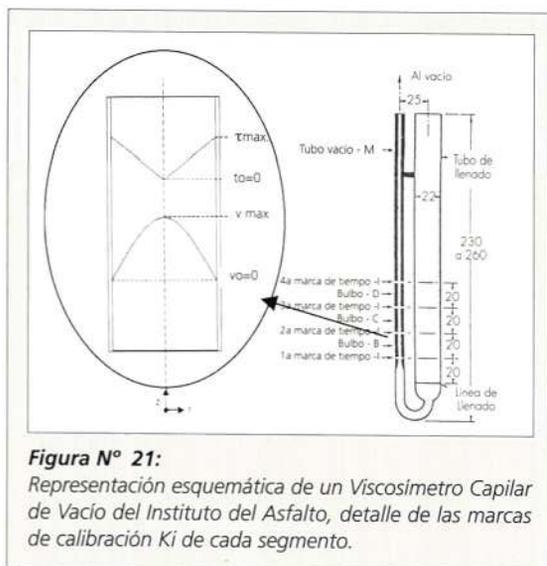


Figura N° 21:
Representación esquemática de un Viscosímetro Capilar de Vacío del Instituto del Asfalto, detalle de las marcas de calibración K_i de cada segmento.

5.5.2 Ensaye para Determinar la Viscosidad Cinemática, mediante Viscosímetros Capilares (8.302.13 V.8 M.C.).

Objetivo y alcance: Este método abarca el procedimiento para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos cortados a 60°C y de cementos asfálticos a 135°C. Este ensaye se utiliza para determinar el estado de fluidez de los ligantes asfálticos.

Resumen del Método:

Para asfaltos cortados: Abra el contenedor con la muestra y agítela. Si la muestra está demasiado viscosa para su agitación, colóquela dentro del contenedor sellado en un horno a $63 \pm 3^\circ\text{C}$, hasta que la muestra este fluida. Inmediatamente cargue el viscosímetro.

Para cementos asfálticos: Caliente la muestra con cuidado para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que llegue a estar lo suficientemente fluida para trasvasijar. Transfiera un mínimo de 20 ml en un contenedor adecuado y caliente a $135 \pm 5^\circ\text{C}$.

Resumen del Ensaye: Seleccione un viscosímetro limpio y seco, que de un tiempo de flujo mayor que 60 s. Precalente a la temperatura de ensaye. Cargue el viscosímetro. Deje que el viscosímetro cargado, permanezca en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de ensaye.

Inicie el flujo de asfalto en el viscosímetro. Mida aproximando a 0,1 seg., el tiempo requerido para que el borde del menisco pase de la primera marca de tiempo a la segunda.

Cálculo: Calcule la viscosidad cinemática con tres cifras significativas usando la siguiente ecuación :

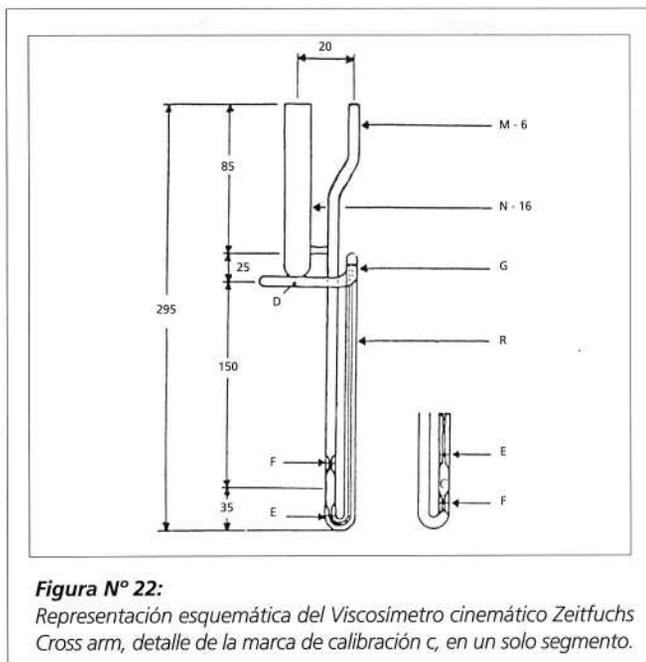
$$\text{Viscosidad cinemática } v \text{ (cst)} = c \times t$$

Donde c es la constante de calibración de viscosímetros cinemáticos (cst/s) y t es el Tiempo de flujo (s)

Conversión entre viscosidad absoluta y viscosidad cinemática:

$$\mu = \rho \cdot \nu$$

Donde μ (poise) es la viscosidad absoluta, ρ (g/cm^3) es la densidad del asfalto y ν (cst) viscosidad cinemática.



5.5.3 Ensaye para Determinar la Viscosidad Rotacional (8.302.24 V.8 M.C.)

Los ensayos realizados en viscosímetros capilares (absolutos o cinemáticos), también pueden ser realizados en un viscosímetro rotacional, el cual simplifica el trabajo y limpieza de los elementos utilizados.

El viscosímetro rotacional mide la viscosidad del cemento asfáltico, mediante el torque producido por un motor que hace girar un cilindro metálico sumergido en la muestra a ensayar.

La resistencia que opone el fluido al movimiento producido por el cilindro metálico, es la viscosidad del ligante asfáltico; característica intrínseca de cada material relacionada con su composición química y molecular.

5.6 ENSAYE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS (8.302.17 V.8 M.C.)

Objetivo: Este procedimiento se utiliza para determinar el punto de fragilidad de los ligantes asfálticos de consistencia sólida o semisólida, por medio del Dispositivo Fraass.



Figura N° 23:

Detalle fotográfico de la flexión ejercida a la placa que contiene la película de ligante asfáltico en la realización del ensayo de Fraass.

Resumen del Método: El ensayo consiste en utilizar el equipo de Fraass para someter a flexión en ciclos repetitivos, una pequeña película del material asfáltico, colocada sobre una de las caras de una delgada lámina de acero. Mientras se ensaya, la temperatura de ensaye disminuye en forma controlada. El punto de fragilidad Fraass, es aquella temperatura que, debido a la rigidez adquirida por el ligante asfáltico, se observa la primera fisura o rotura en la superficie de la película.

5.7 ENSAYE DE SOLUBILIDAD (8.302.11 V.8 M.C.)

Objetivo: Mide la pureza del cemento asfáltico. La porción de cemento asfáltico que es soluble en tricloroetileno, representa los constituyentes cementantes; la materia inerte, tales como sales, carbón libre u otro contaminante, son insolubles en este solvente. Los cementos asfálticos son además, solubles en otros solventes, pero estos solventes son tóxicos e inflamables y no se usan en este ensaye.

Resumen del Método: La solubilidad consiste en diluir 2 g de asfalto en 100 ml de solvente para separar el material insoluble, retenido en un filtro Crisol Gooch. Se determina la cantidad de material insoluble retenido en el filtro, expresado como un porcentaje del peso original de la muestra.

5.8 ENSAYE DE LA MANCHA (8.302.7 V.8 M.C.)

Objetivo y alcance: Determina la razón de asfaltenos / maltenos de un ligante asfáltico. Los Asfaltenos son solubles en Xilol e insolubles en n-heptano. Los Maltenos son solubles en Xilol y N-heptano.

El equivalente de Xileno es la menor cantidad de xilol, que en una solución de volumen constante de xilol y n-heptano (10.2 ml), disuelve todos los asfaltenos que se encuentran en una muestra de ligante asfáltico.

La oxidación, reacción de ligante asfáltico con oxígeno, produce un aumento de sustancias insolubles en n-heptano.

Resumen del Método: Introduzca 2 gr de muestra en el frasco. Con una pipeta introduzca un volumen V1 de xileno y volumen V2 de n-heptano (siempre se tiene un total $V1 + V2 = 10,2$ ml de solvente). Agite el envase e introduzca el frasco en un baño de agua caliente a ebullición agitando hasta diluir la muestra.

Finalmente, se deja caer una gota de la solución en un papel filtro y examine al secar. Si se encuentra una aureola no homogénea, informe como positiva (hay asfaltenos sin diluir), si no hay aureola, informe como negativo (todo los asfaltenos estan diluidos).

5.9 ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA (8.302.33 V.8 M.C.)

El ensaye de Película Delgada, ha sido reemplazado por el Método de Ensaye de Película Delgada Rotatoria. El ensaye de Película Delgada, simulaba las condiciones de envejecimiento primario ocurrido durante la operación de mezclado en planta del cemento asfáltico con el agregado.

5.10 ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA (8.302.33 V.8 M.C.)

Objetivo: El ensaye de película delgada rotatoria, es un procedimiento que somete a la muestra de cemento asfáltico a condiciones de envejecimiento primario similares a las que ocurren normalmente en las operaciones de mezcla en planta, por lo tanto simula el endurecimiento u oxidación del cemento asfáltico durante las operaciones de mezclado hasta su colocación en terreno.

El envejecimiento del ligante, ocurre por la evaporación de aceites contenidos en el cemento asfáltico, el cual no debe superar un 0.8% de elementos volátiles. Por reacción química, algunas resinas que constituyen el ligante asfáltico se oxidan, aumentando su resistencia a esfuerzos de corte; provocando un aumento de la viscosidad en comparación al cemento asfáltico original.



Resumen del Método: El horno de película delgada rotatoria, posee características especiales en el cual se coloca un frasco especialmente diseñado, como recipiente de la muestra de ensaye. Una cantidad específica de cemento asfáltico se coloca dentro del frasco y se pone en un sistema que gira a una velocidad determinada en torno a un eje horizontal. El horno se mantiene a una temperatura de 163°C por 75 min. Al rotar el frasco continuamente, permite exponer películas frescas de cemento asfáltico a la superficie. En cada rotación, el orificio del frasco pasa frente a un flujo de aire que acelera su oxidación.

Se calcula la cantidad de volátiles desprendidos en el cemento asfáltico como:

$$\% \text{ pérdida por calentamiento} = \frac{(CA_0 - CA_F)}{CA_0} \cdot 100$$

Donde CA_0 es la masa de la muestra de cemento asfáltico original, y CA_F es la masa de la muestra después de PDR.

5.11 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE DURABILIDAD

Es la razón entre la viscosidad absoluta medida a 60°C, del cemento asfáltico obtenida después de realizada la película delgada rotatoria, respecto a su viscosidad absoluta medida a 60°C del cemento asfáltico original. Este entrega un Índice del envejecimiento sufrido por el cemento asfáltico, debido a la pérdida de elementos volátiles y oxidación de sus componentes malténicos, produciendo el endurecimiento del asfalto.

$$ID = \frac{\text{Viscosidad PDR}}{\text{Viscosidad Original}}$$

Donde ID es el Índice de Durabilidad

5.12 NOMOGRAMA DE HEUKELOM. (8.302.18 V.8 M.C.)

Heukelom diseñó en 1969, un nomograma para caracteriza los cementos asfálticos desde el punto de vista reológico, y que permite obtener información sobre el origen y tratamiento del crudo. Este Nomograma se construye a partir de cinco ensayos reológicos:

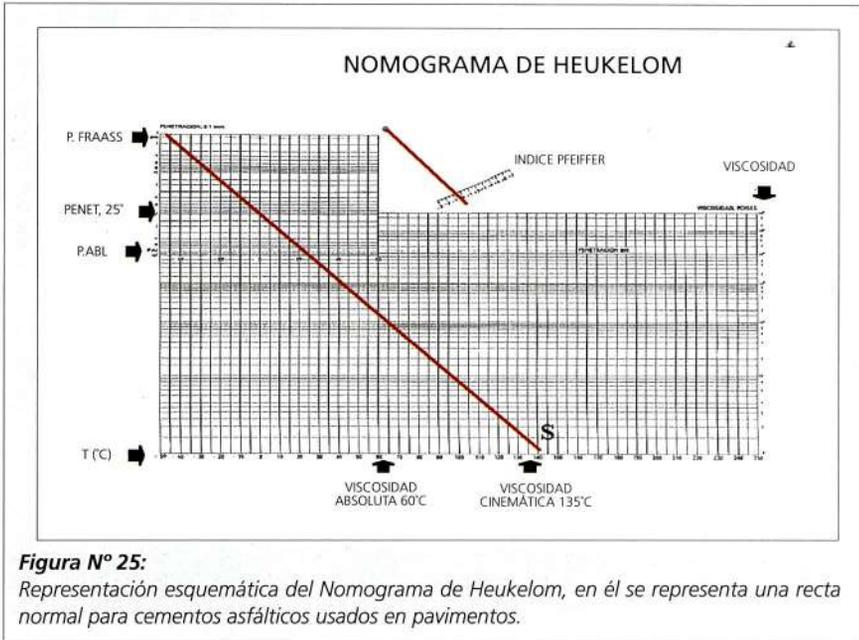
Ensayes	Método
- Punto de Fragilidad de Fraass	V. 8 – M.C. 8.302.17
- Penetración	8.302.3
- Punto de Ablandamiento anillo y bola	8.302.16
- Viscosidad absoluta a 300 mm Hg, 60°C	8.302.15
- Viscosidad cinemática a 135°C	8.302.13

El nomograma tal como muestra la figura, tiene en la abscisa inferior la escala de temperatura, y en las ordenadas dos escalas logarítmicas. Una en el sector superior izquierdo donde se encuentra la escala de penetraciones, y la otra en el sector derecho inferior, donde se encuentra la escala de viscosidades. El nomograma se completa con dos abscisas intermedias, una para el punto de fragilidad de Fraass y la otra para el punto de ablandamiento de anillo y bola.

5.12.1 Determinación del Índice de Pfeiffer

El nomograma se completa con un punto y una escala que se encuentra al centro de la parte superior, que sirve para interpolar la recta obtenida en el nomograma y obtener el Índice de Pfeiffer.

El Índice de Pfeiffer proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.



En función del Índice de Pfeiffer, se pueden clasificar los ligantes asfálticos, en tres grupos:

- A. $IP > +1$, Son ligantes asfálticos con baja susceptibilidad a la temperatura, presentando cierta elasticidad. Se denominan tipo gel o soplado, ya que la mayoría de los betunes oxidados pertenecen a este grupo.
- B. $IP < -1,5$, Son ligantes asfálticos con mayor susceptibilidad térmica, ricos en resinas y con comportamiento algo viscoso.
- C. $-1,5 < IP < 1$, Característica intermedia entre los dos anteriores; pertenecen a este grupo la mayoría de los ligantes asfálticos que se utilizan en la construcción de carreteras, al ser este intervalo de valor de IP de la mayoría de las especificaciones.

5.12.2 Determinación de las Temperaturas de Trabajo

De éste Nomograma se obtienen las temperaturas de mezclado y temperatura de compactación en el siguiente rango de viscosidades:

- Viscosidad de Mezclado $1,7 \pm 2,0$ P
- Viscosidad de Compactación $2,8 \pm 3,0$ P

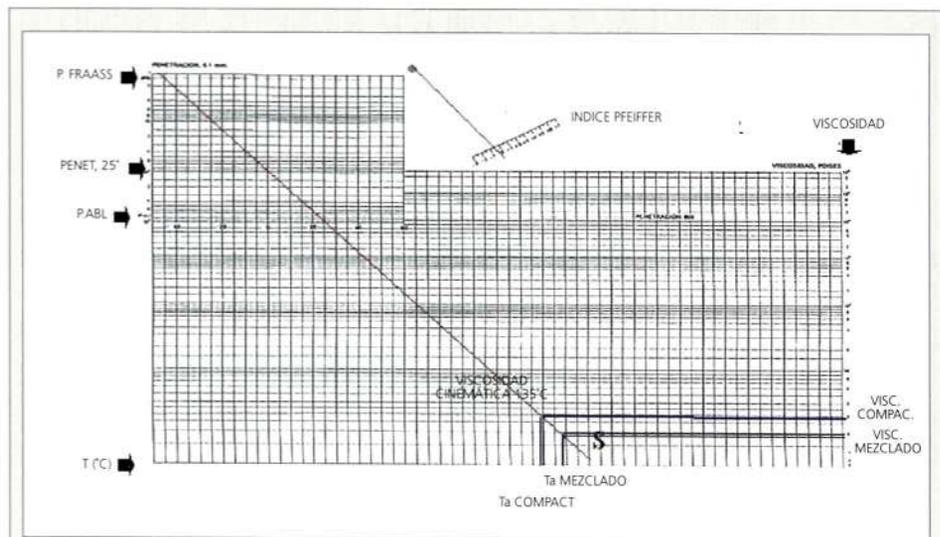


Figura N° 26:

Representación esquemática del Nomograma de Heukelom, en él se representa como se obtiene las temperaturas de Mezclado y Compactación para cementos asfálticos usados en pavimentos.

5.12.3 Tipos de Cementos Asfálticos según Nomograma de Heukelom

En función de la representación obtenida, Heukelom clasifica los cementos asfálticos en tres tipos:

- **Tipo S:** Se obtiene como representación una línea recta y corresponde a este tipo de cementos asfálticos de destilación directa (Straight), normalmente utilizados en pavimentación.
- **Tipo W:** Representación formada por dos ramas rectas sensiblemente paralelas y con una intermedia de discontinuidad. Esta representación corresponde a cementos asfálticos parafínicos (Wax) y la zona de transición es consecuencia de la posible fusión de elementos parafínicos.
- **Tipo B:** La representación de los ligantes asfálticos está formada por dos rectas que se cortan. A bajas temperaturas, la recta tiene menos pendiente que la obtenida a altas temperaturas. Corresponde esta representación a cementos asfálticos sopladados (Blown)

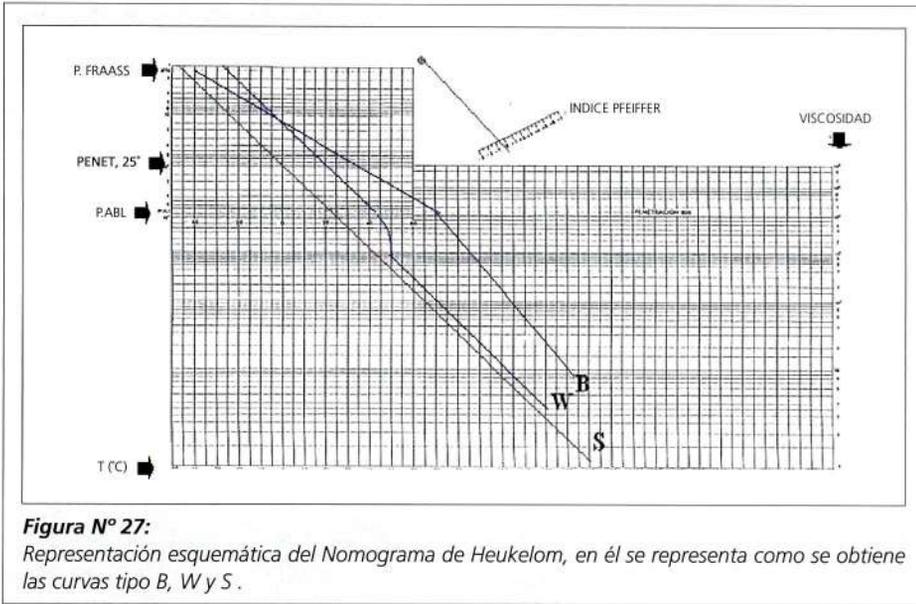


Figura N° 27:

Representación esquemática del Nomograma de Heukelom, en él se representa como se obtiene las curvas tipo B, W y S.

A partir de este nomograma es posible evaluar el comportamiento reológico de los ligantes asfálticos, así como determinar en forma indirecta la presencia de parafinas y si ha habido durante su fabricación algún proceso de soplado.

5.13 MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO UTILIZADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Objetivo y alcance: Permite recuperar el asfalto de una mezcla sin ser alterada, para conocer las propiedades de esta. Ya sea para determinar el estado de la muestra o para su investigación.

El ligante asfáltico se recupera con propiedades que son sustancialmente las mismas que posee en la mezcla asfáltica, y en cantidad suficiente para realizar ensayos posteriores.

Los métodos que se utilizan para la recuperación del asfalto y que se estudiarán en esta sección son:

- Método de Ensaye para Recuperación del Asfalto por el Método Abson.
- Método de Ensaye para Recuperación del Asfalto por el Método Rotavapor.

El procedimiento inicial que se emplea en la recuperación del ligante asfáltico desde la mezcla asfáltica, es común para ambos métodos usados.

Previo a la aplicación de ambos métodos, el ligante asfáltico se recupera desde una solución de tricloroetileno obtenida de la primera extracción desde la mezcla asfáltica según el Método de Ensaye 8.302.36 del Volumen 8 del Manual de Carreteras. Antes de destilar es necesario eliminar todo el material fino que queda en suspensión a través de sucesivas centrifugaciones.

También es posible realizar el método de recuperación con Diclorometano con el equipo Rotavapor.

5.13.1. Ensaye de Recuperación del Cemento Asfáltico utilizando el Método Abson (8.302.34 V.8 M.C.)

Resumen del Método: Antes de iniciar la recuperación del cemento asfáltico por el método abson es necesario realizar una destilación primaria para concentrar la solución del asfalto, operación que realizamos con un matraz de bolo de 2000 ml de capacidad.

La solución asfalto solvente obtenida de la destilación primaria es trasvasijado en el aparato Abson (matraz destilador de 250 ml) para continuar su destilación. A partir de los 135°C se introduce dióxido de carbono en el proceso de destilación para remover las últimas trazas de solvente. El asfalto recuperado a 160°C (residuo asfáltico) se utiliza para realizar los ensayos requeridos.

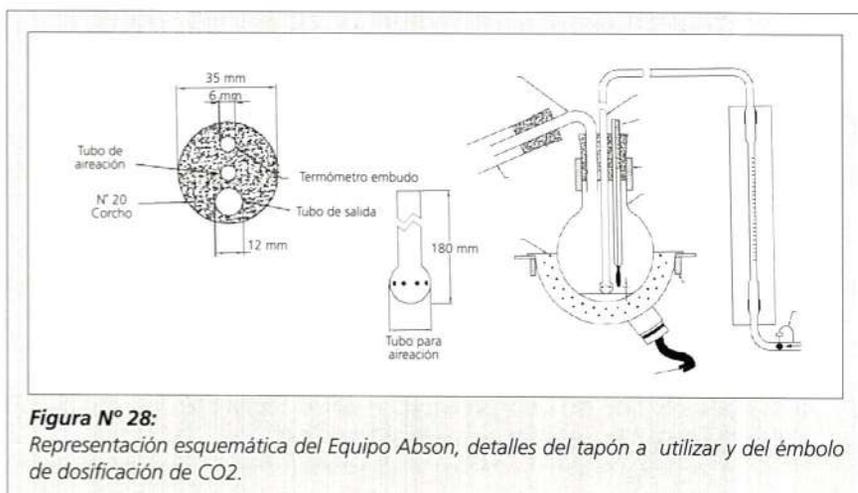
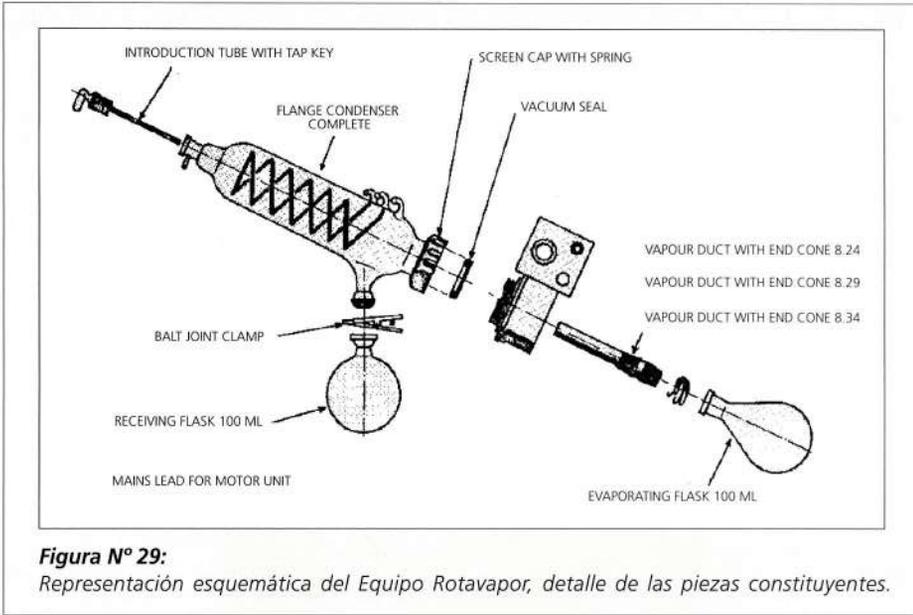


Figura N° 28:
Representación esquemática del Equipo Abson, detalles del tapón a utilizar y del émbolo de dosificación de CO₂.

5.13.2. Ensaye de Recuperación del Cemento Asfáltico utilizando el Método Rotavapor. (8.302.58 V.8 M.C.)

Resumen del Método: La solución centrifugada asfalto solvente obtenida de la extracción, ingresa en forma continua al Equipo Rotavapor, la cual destila a una temperatura, velocidad de rotación del matraz y presión de vacío predeterminada, a su vez se recupera el tricloroetileno.

Una vez que toda la muestra a ingresado y se observa que ya no se produce destilación del solvente, se varían los parámetros temperatura, velocidad de rotación del matraz, presión de vacío y se introduce dióxido de carbono (si se requiere), en el proceso para remover las últimas trazas de solvente. El asfalto recuperado (residuo asfáltico), es utilizado para realizar los ensayos requeridos.



5.14. ENSAYE DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA (8.302.19 V.8 M.C.)

Objetivo y alcance: Establece un procedimiento para determinar el grado de elasticidad de un Asfalto Modificado. Este ensaye se aplica a Cementos Asfálticos Modificados con Polímero y residuos de las Emulsiones Asfálticas Modificadas.



Resumen del Método: Se prepara una briqueta de ductibilidad, la cual es estirada hasta 20 cm., a velocidad y temperatura específicas. Después de lo cual se corta a una distancia equidistante de ambos extremos. Transcurridos 60 min, se calcula la distancia de contracción sufrida por la muestra con la cual se determina la recuperación elástica porcentual. Anote la longitud recuperada entre ambos extremos cortados de la muestra. Se calcula el porcentaje de recuperación como:

$$\%R = \frac{d}{20} \cdot 100$$

Donde d (cm) es la distancia entre los extremos cortados de la muestra.

5.15. ENSAYE DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN (NLT 329/91)

Objetivo y Alcance: Este ensayo se aplica a los Cementos Asfálticos Modificados con Polímero y residuos de las Emulsiones Asfálticas Modificadas. Establece un procedimiento para determinar el grado de elasticidad de un Ligante Asfáltico Modificado.



Resumen del Método: La muestra es torcida dentro de un cilindro hasta un ángulo de 180°, a velocidad y temperatura preestablecidas. Después de lo cual se suelta. Transcurridos 30 min., se mide el ángulo de recuperación de la muestra con la cual se determina el porcentaje de recuperación elástica por torsión.

5.16. ENSAYE DE ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS (NLT 328/91)

Objetivo y Alcance: Este ensayo se aplica a los Cementos Asfálticos Modificados con Polímero. Establece un procedimiento para determinar el grado de estabilidad al almacenamiento de cementos asfálticos Modificados con Polímeros.

El almacenamiento de ligantes asfálticos modificados con polímeros, puede producir sedimentación, enriqueciéndose de polímeros en la parte superior, medio o inferior del estanque, en desmedro de otros sectores debido a la diferencia de densidades entre ambas fases. Éste fenómeno puede ser asociado a una deficiente dispersión del polímero o a la incompatibilidad entre ambos materiales.

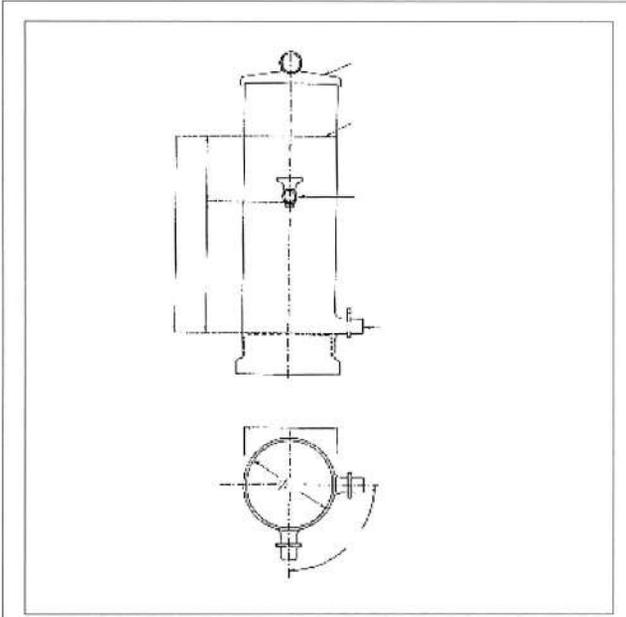


Figura N° 32:

Esquema del estanque utilizado para el Ensaye de Estabilidad de Almacenamiento de Cemento Asfáltico Modificado con Polímero.

Resumen del Método: Una muestra de ligante asfáltico modificado, contenido en un recipiente de características específicas, se somete a una alta temperatura por 5 días, determinándose al final de este tiempo, el punto de ablandamiento, penetración u otra característica a muestras obtenidas desde la parte superior, media e inferior del recipiente.

5.17. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN PARA ASFALTOS MODIFICADOS (8.302.21 V8 MC)

Alcance y Resumen del Método: Este método de determinación del IP se realiza para Cementos Asfálticos Modificados con Polímero y residuos de las Emulsiones Asfálticas Modificadas. En éste caso el índice de penetración (IP) es una expresión numérica que relaciona la penetración del ligante asfáltico a 25°C y el punto de ablandamiento de anillo y bola.

Este índice se usa para indicar la susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos modificados. Los asfaltos con baja susceptibilidad térmica son aquellos cuyo valores de IP son mayores. Si el valor de IP es menor, estos asfaltos tienen una mayor susceptibilidad con los cambios térmicos.

El índice de penetración puede ser calculado a través de un nomograma mostrado en la siguiente Figura .

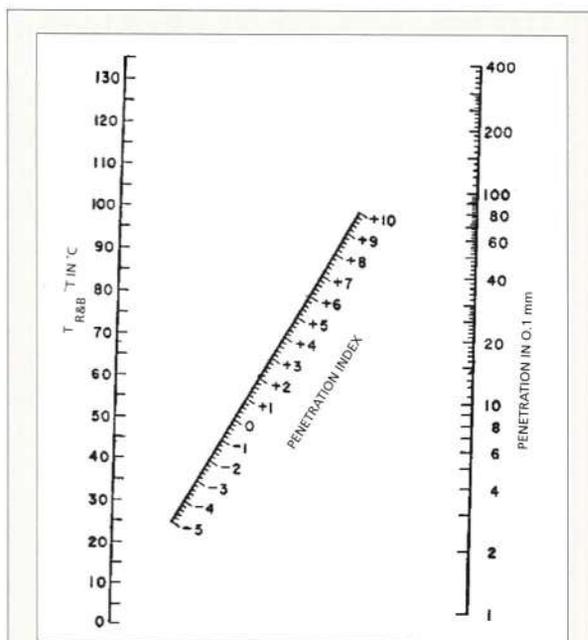


Figura N° 33:
Representación esquemática del Nomograma del Índice de Penetración (dibujo no a escala).

5.18. Ensaye de Resiliencia

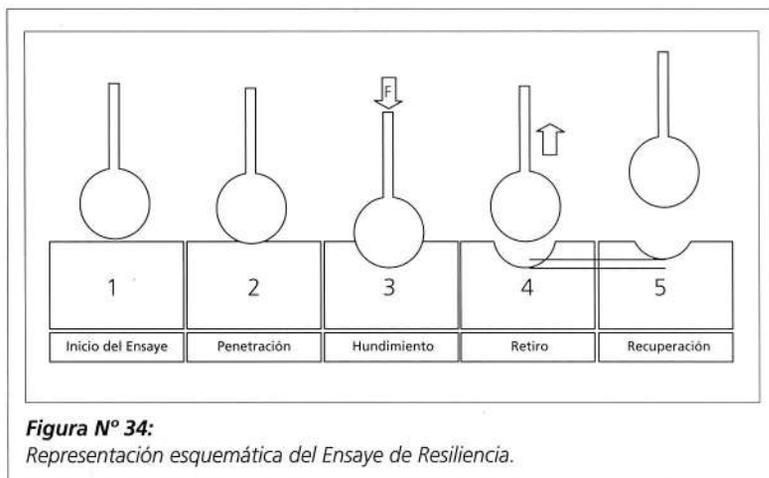
Objetivo y Alcance: Este ensaye se realiza para determinar el grado de elasticidad que posee un material. El ensaye se realiza a algunos tipos de sellos de juntas (véase el Capítulo II: Sellos de Juntas).

El equipo utilizado para el ensaye es el mismo que se utiliza en el ensaye de penetración, cambiando la aguja de penetración por una bola de penetración.

Resiliencia: Es la capacidad de un material de recobrar su forma original después de haber sido sometido a una fuerza de deformación. Aquellos materiales que no recuperan su forma se denominan viscosos, y aquellos materiales que recuperan su forma se denominan elásticos.

El cemento asfáltico, posee un comportamiento viscoelástico, mientras que el cemento asfáltico modificado, aumenta en forma notoria su elasticidad.

Resumen del Método: Se coloca la bola de penetración en la superficie de la muestra, a temperatura específica se suelta el vástago de bola de penetración, permitiendo que penetre en la muestra, tras lo cual se aplica una fuerza vertical, hundiendo la bola en el material por un determinado tiempo. Una vez retirada la bola, se da un tiempo al material para que recupere su forma original. Se lee el dial una vez finalizado el tiempo de recuperación.



5.19. VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL (8.302.14 V.8 M.C.)

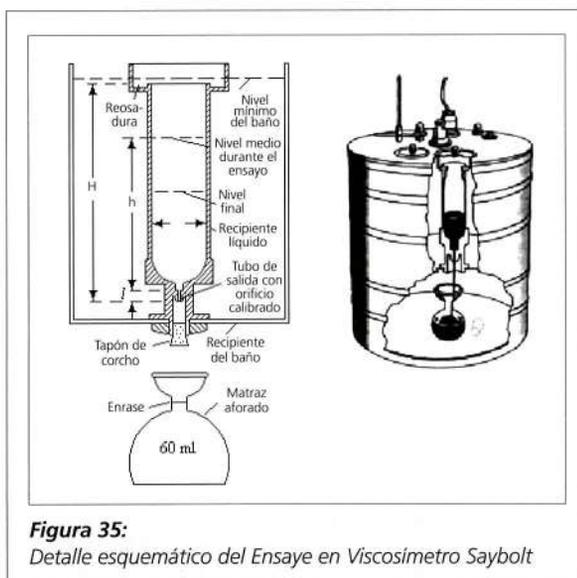
Objetivo y Alcance: El procedimiento es una medida de viscosidad de productos del petróleo con temperaturas entre 20 y 100°C.

La Viscosidad Saybolt es una forma de medir la resistencia a fluir de las emulsiones asfálticas y asfaltos cortados. La viscosidad se determina por el tiempo que demora en pasar a través de un orificio furol calibrado, bajo condiciones específicas una muestra de 60 ml.

La palabra "Furol" es una contracción de fuel and road oils.

Resumen del Método: Inserte en la salida del viscosímetro un tapón de corcho. Filtre la muestra preparada a través de una malla 0,160 mm. Vierta la muestra dentro del viscosímetro hasta el nivel de derrame. Coloque el frasco receptor debajo del viscosímetro. Retire el corcho del viscosímetro, al mismo tiempo que parte el cronómetro. Pare el cronómetro en el instante que la muestra llene el vaso hasta la marca de graduación.

El tiempo que demora en llenar los 60 ml del frasco receptor corresponde a la Viscosidad Saybolt Furol, cuya unidad es sSF.



5.20. ENSAYE DE DESTILACIÓN DE ASFALTOS CORTADOS (8.302.4 V.8 M.C.)

Objetivo y alcance: Los asfaltos cortados son mezclas de cementos asfálticos y solventes. La destilación separa el solvente del cemento asfáltico. Este procedimiento mide la cantidad de constituyentes más volátiles en los asfaltos cortados.

Resumen del Método: Se colocan 200 ml de muestra de asfalto cortado en un matraz de bolo de destilación.

El matraz se coloca al interior de una camisa protectora. En la boca del matraz se inserta un corcho en cuyo centro se inserta un termómetro. El bulbo del termómetro debe quedar ajustado a 6 mm del fondo del matraz.

La salida del matraz se conecta a un tubo condensador y el destilado se receptiona en una probeta graduada.

Previo al ensaye se debe corregir la temperatura de la destilación, dependiendo de la elevación sobre el nivel del mar del laboratorio en el cual se realiza el ensaye.

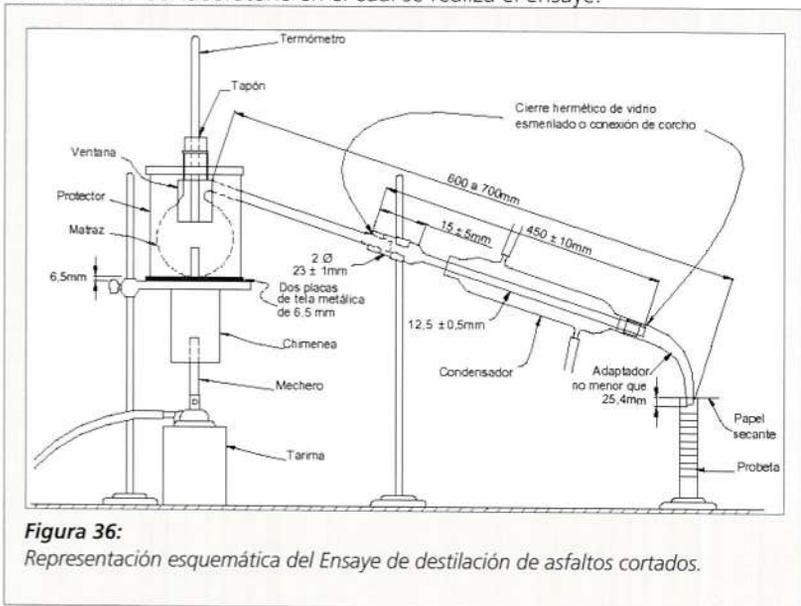


Figura 36:
Representación esquemática del Ensaye de destilación de asfaltos cortados.

Anote los volúmenes de fracción de destilado obtenidas en la probeta, según la temperatura descrita en la especificación y cuando alcance 360°C, recupere el residuo (R) y anote el volumen total de destilado recolectado (DT).

Utilice el residuo para los ensayes que se requieran según las especificaciones.

Cálculos: Calcule las fracciones de destilado a cada temperatura, como la razón de volumen de la fracción por el volumen total de destilado. Calcule el porcentaje de residuo como:

$$R = \frac{(200 - DT) \times 100}{200}$$

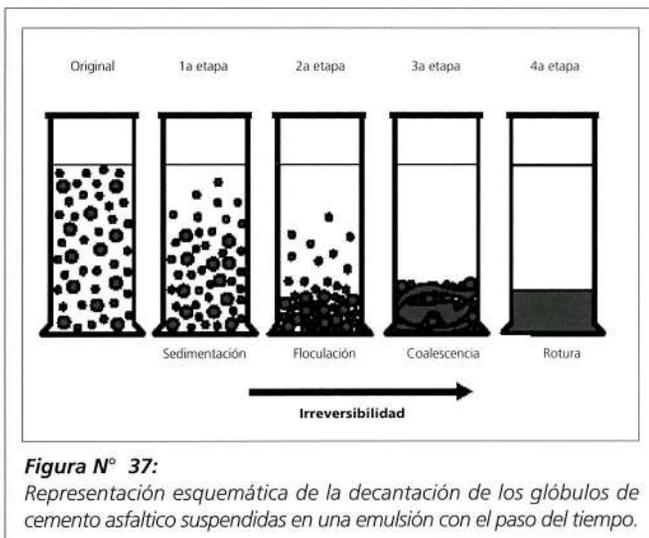
Donde R es el contenido del residuo (% en volumen) y DT es el volumen de destilado total recuperado a 360°C (ml)

5.21. ENSAYE DE CAPACIDAD DE ALMACENAJE (ESTABILIDAD) Y SEDIMENTACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS. (8.302.5 V.8 M.C.)

Objetivo y alcance: El ensayo indica el grado de sedimentación de los glóbulos de cemento asfáltico contenidos en la emulsión durante su almacenamiento.

Resumen del Método: En un cilindro de vidrio graduado se colocan 500 ml de una emulsión y se deja reposar un tiempo determinado:

- En caso del ensayo de Estabilidad, se deja reposar 24 hrs.
- En caso del ensayo de Sedimentación, se deja reposar 5 días
- En otros casos, anote el tiempo de reposo. Indique el tiempo de reposo en el informe.



Cumplido dicho tiempo, se extrae 50 ml de emulsión de la parte superior y 50 ml de emulsión del fondo del cilindro (el resto de la emulsión se desecha). Al remover la muestra superior e inferior, evite movimientos bruscos o agitación del cilindro, para no entorpecer la sedimentación alcanzada por la emulsión en reposo.

Coloque la muestra de la parte superior e inferior en un horno para evaporación, hasta alcanzar masa constante. Calcule el porcentaje de residuo en ambas muestras. Calcule la sedimentación y estabilidad como sigue:

$$\% \text{ sedimentado} = B - A$$

Donde A: porcentaje de residuo de la parte superior
 B: es el porcentaje de residuo de la parte inferior

Nota:

Todos los elementos utilizados deben ser pesados previo a los ensayos.

5.22. ENSAYE DE DEMULSIBILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS (8.302.5 V.8 M.C.)

Objetivo y alcance: El ensaye indica la rapidez con el cual los glóbulos de asfaltos quebran cuando se esparcen sobre un suelo o agregado. Este ensaye, salvo indicaciones, sólo se realiza a emulsiones de quiebre rápido.

Resumen del Método: Desde una bureta, y durante 120 seg., se agrega una solución de solvente reactivo a 100 grs de emulsión contenida en un vaso apropiado. Mientras adiciona la solución, se agita con una varilla metálica el contenido, amasando el residuo contra las paredes del vaso. Se continúa amasando unos 120 seg. después de la adición de la solución. Trasvasije la mezcla de emulsión no quebrada y el reactivo sobre una malla. Lave con agua destilada el vaso que contiene la muestra y la varilla, amase y desmenuce toda la masa lavando el vaso, la varilla y la malla hasta que el agua de lavado sea completamente limpia. Traspase el contenido de asfalto de la malla al vaso con la varilla de metal. Seque el residuo hasta masa constante y anote la masa de residuo.

El tipo y cantidad de solución a agregar depende del tipo de emulsión asfáltica:

- Cuando se ensaya Emulsiones catiónicas se agregan 35 ml de dioctyl sulfosuccinato de sodio (8,0 g/l).
- Cuando se ensaya Emulsiones aniónicas se agregan 35 ml de solución de cloruro de calcio (1.11 g/l).

Cálculo: Reste el peso del vaso, la varilla y la malla seca del conjunto obteniendo el residuo de la demulsibilidad. Calcule la demulsibilidad como sigue:

$$\% \text{ DEMULSIBILIDAD} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde A es la masa del residuo de demulsibilidad y B es la masa del residuo por destilación de 100 g de emulsión asfáltica.

Nota:

Todos los elementos utilizados deben ser pesados previo a los ensayes.

5.23. ENSAYE DE MEZCLA DE CEMENTO DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS (8.302.5 V.8 M.C.)

Objetivo y Alcance: El ensaye es equivalente al ensaye de demulsibilidad de las emulsiones de quiebre rápido. El ensaye indica la rapidez con el cual los glóbulos de asfaltos quebran cuando se esparcen sobre un suelo o agregado. Este ensaye, salvo indicaciones, sólo se realiza a emulsiones de quiebre lento.

Resumen del Método: En un recipiente apropiado coloque 50 grs. de cemento hidráulico, previamente tamizado en malla 0.180 mm. Vierta sobre el cemento 100 ml de emulsión asfáltica diluida al 55% del residuo determinado por destilación. Agite vigorosamente durante 2 min. y luego vierta 150 ml. de agua destilada mientras se mantiene la agitación por 1 min.

Vierta el contenido sobre un tamiz 1.4 mm. Lave repetidamente el material hasta que el agua salga completamente limpia, coloque el tamiz sobre un plato y seque en un horno hasta masa constante.

Informe el peso del material retenido en el plato y tamiz como porcentaje de quiebre de la emulsión.

Nota:

Todos los elementos utilizados deben ser pesados previo a los ensayes.

5.24. ENSAYE DE CARGA DE PARTÍCULAS DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS (8.302.5 V.8 M.C.)

Objetivo: Este ensaye se efectúa para identificar la polaridad de la emulsión.

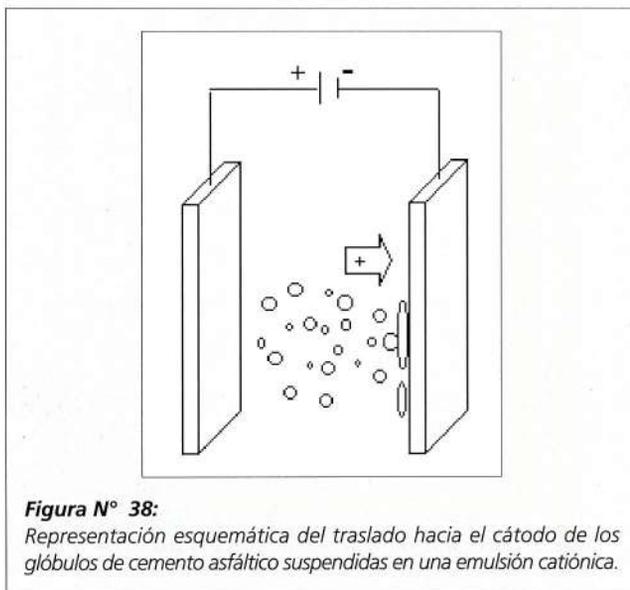


Figura N° 38:

Representación esquemática del traslado hacia el cátodo de los glóbulos de cemento asfáltico suspendidas en una emulsión catiónica.

Resumen del Método: Coloque una muestra de emulsión a ensayar dentro de un vaso de 150 ó 250 ml. Conecte los electrodos a la fuente de poder e insértelos dentro de la emulsión.

Ajuste la corriente en un rango de 8 mA y desconecte la fuente a los 30 min. Observe el asfalto depositado sobre uno de los electrodos; una emulsión catiónica depositará una capa de asfalto sobre el cátodo (electrodo negativo) mientras que al ánodo (electrodo positivo) quedará limpio; esto indica carga positiva. De igual forma, una emulsión aniónica depositará una capa de asfalto sobre el ánodo (electrodo positivo), quedando el cátodo relativamente limpio; ello indica una carga negativa.

5.25. ENSAYE DE DESTILACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Objetivo: Las emulsiones asfálticas está formada por de cemento asfáltico, agua y agente emulsificante. La destilación separa el cemento asfáltico del agua y el agente emulsificante.

Resumen del Método: Se coloca 200 ml de muestra de emulsión asfáltica en una marmita metálica normalizada para este ensaye.

La marmita se coloca sobre un soporte y alrededor del manto se inserta un anillo quemador. En los orificios de la tapa de la marmita se colocan los termómetros y el codo conector.

El bulbo del termómetro debe quedar ajustado a 6 mm del fondo de la marmita. El codo se conecta a un tubo condensador y se coloca una probeta graduada para recepcionar el destilado.

El anillo quemador inicialmente se ubica en la parte superior del manto. Dependiendo de la temperatura, se cambia de posición el anillo desde la parte superior a la zona intermedia y, luego, en la parte inferior del manto a nivel con el fondo hasta alcanzar los 260 °C.

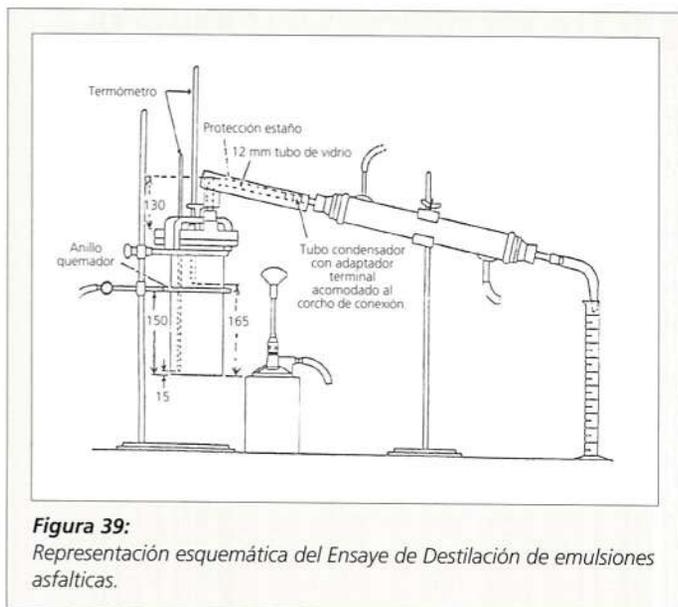


Figura 39:
Representación esquemática del Ensayo de Destilación de emulsiones asfálticas.

Cuando alcance 260°C, detenga la destilación, anote la masa de la muestra con el conjunto marmita, tapa y seguro.

Utilice el residuo para los ensayos que se requieran según las especificaciones.

Cálculos: Calcule el porcentaje de residuo como:

$$\% \text{Residuo} = \frac{R}{M} \times 100$$

Donde R es la masa de residuo obtenido en la marmita a los 260°C y M es la masa inicial de emulsión colocada en la marmita. La masa del residuo se calcula conociendo previamente la masa de la marmita, tapa y seguro.

Nota:

Todos los elementos utilizados deben pesarse previo a los ensayos.

5.26. ENSAYE DE VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Objetivos y alcance: Es una medida empírica de la viscosidad de productos del petróleo a temperaturas en el rango de 20 y 100°C.

La Viscosidad Saybolt Universal es una forma de medir la resistencia a fluir de las emulsiones imprimantes. Se usa una abertura tipo universal de menor diámetro que la abertura tipo

Saybolt usada con las emulsiones tradicionales, debido a la mayor fluidez intrínseca que debe poseer el material.

El diámetro del orificio universal es un décimo de la abertura Furol. La viscosidad se determina de igual forma a la descrita en el punto 5.3.1.

5.27. ENSAYE DE FLOTACIÓN

Objetivo y alcance: El ensayo mide el grado de consistencia de ligantes asfálticos blandos.

Resumen del Método: Se coloca una muestra en el interior de un collarín, éste se ajusta en su parte estrecha a un plato flotador de aluminio. El conjunto armado se coloca en la superficie de un baño de agua a una temperatura específica.

En el instante que se coloca el sistema, se mide el tiempo que la muestra de asfalto cambia su consistencia y se rompa, entrando agua al plato flotante.



5.28. ENSAYE DE OBTENCIÓN DEL RESIDUO DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS

Objetivo: El ensayo se realiza para separar el residuo (cemento asfáltico modificado con polímero) del agua y el agente emulsificante.

Resumen del Método: Se coloca 1 cm de muestra en una bandeja plana metálica y se calienta dentro de un horno eléctrico hasta masa constante, llegando a una temperatura hasta 120°C durante los últimos 15 minutos. Anote la masa del conjunto (antes y después del ensayo) para obtener la masa de residuo (R). Con una varilla se agita la muestra para acelerar y verificar la evaporación de agua. Una vez eliminada el agua por evaporación, aumente la temperatura del horno para disminuir la viscosidad del residuo y facilitar su vertido para los ensayos que se realizarán con posterioridad.

Cálculos: Calcule el porcentaje de residuo como:

$$\% \text{Residuo} = \frac{R}{M} \times 100$$

Donde R es la masa de residuo obtenido y M es la masa inicial de emulsión asfáltica elastomérica inicial.

Nota:

Todos los elementos utilizados deben pesarse previo a los ensayos.

Capítulo VI

6.1 INTRODUCCIÓN A SUPERPAVE

El programa de investigación SHRP (Programa Estratégico de Investigación de Carreteras) fue desarrollado en los Estados Unidos entre 1987 y 1993. Este programa dio como resultado el sistema Superpave (Superior Performance Pavements), que incluye nuevas especificaciones para ligantes asfálticos y agregados y un nuevo método de diseño de mezclas asfálticas en caliente.

6.2 CONCEPTOS BÁSICOS

Reología: La Reología es la ciencia que describe como se deforma en el tiempo un cuerpo sometido a esfuerzos producidos por fuerzas externas, y se puede definir como "el estudio de los cambios en la forma y el fluir de la materia, abarcando elasticidad, viscosidad y plasticidad". El comportamiento reológico del asfalto depende de la temperatura del asfalto y la duración de la carga.

A altas temperaturas y/o cargas lentas: El asfalto se comporta como un líquido viscoso, cuya viscosidad varía con las condiciones específicas de carga y temperatura. Fluyen siguiendo la Ley de Newton, la energía de deformación se disipa en el líquido en forma de calor, esto quiere decir que no puede ser recuperada al desaparecer el esfuerzo, por lo tanto, es necesario aportar continuamente energía para mantener el flujo del líquido.

A bajas temperaturas y/o cargas rápidas: El asfalto se comporta como un sólido elástico, cuya rigidez depende de las condiciones específicas de temperatura y carga. Los asfaltos a bajas temperaturas se comportan según la Ley de Hooke.

A temperaturas intermedias: El asfalto se comporta como un material viscoelástico. Este comportamiento se caracteriza por una respuesta combinada ante una carga, con una componente viscosa y una componente elástica.

Envejecimiento: Se produce por medio de varias y complejas reacciones, cuando éste está expuesto a agentes ambientales como calor y oxígeno. El envejecimiento produce cambios en el comportamiento reológico del asfalto, transformándolo en un material más rígido y de menor susceptibilidad térmica.

Durante la vida del asfalto, se pueden distinguir dos importantes procesos de envejecimiento:

Envejecimiento Primario: Se produce durante el mezclado, almacenamiento y colocación de la mezcla asfáltica, descrito anteriormente.

Envejecimiento Secundario: Es el que sufre el asfalto durante la vida de servicio del pavimento.

6.3 MÉTODOS DE ENSAYES Y EQUIPOS SUPERPAVE

6.3.1 Procedimientos de Envejecimiento

Los ensayos SHRP se realizan bajo condiciones de temperatura y envejecimiento representativos de la condición que se encuentra el asfalto en el pavimento. Para poder evaluar las características del asfalto en todas las etapas de su vida de servicio, se usan los siguientes ensayos de envejecimiento:

Horno Película Delgada Rotatoria (PDR): Envejece una muestra de asfalto original mediante un ciclo de 75 minutos a una temperatura de 163°C e inyección de aire, descrito en punto 5.1.10.

Simula el envejecimiento en la planta de mezclado y durante la colocación de la mezcla.



Figura N° 41:
Fotografía Horno PDR.

Cámara de Envejecimiento a Presión (PAV): Envejece una muestra de asfalto (previamente envejecida en PDR) durante 20 horas, a temperatura y presión controlada. El objetivo de este ensayo es simular el envejecimiento producido en los primeros años de servicio.

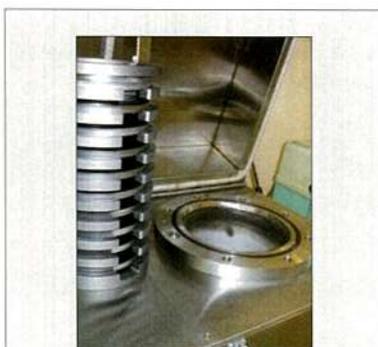


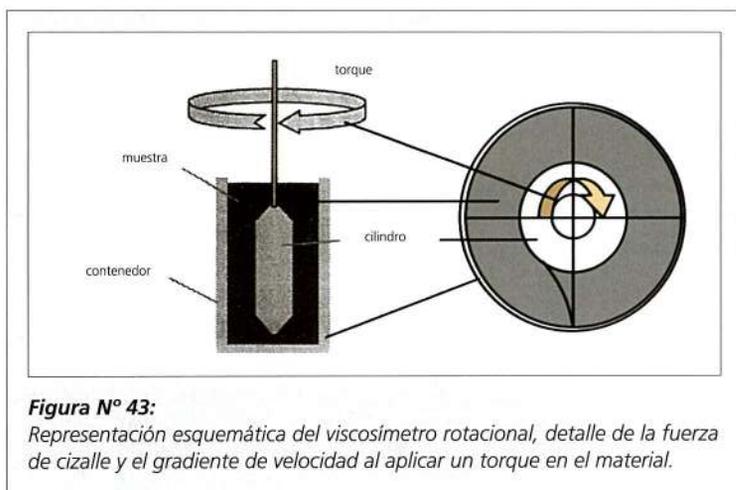
Figura N° 42:
Detalle fotográfico PAV. Esquema del Cilindro interno de la cámara, las bandejas de apoyo de las muestras y plato circular para la muestra.

6.3.2 Viscosidad Rotacional

Mide la viscosidad del cemento asfáltico a altas temperaturas, mediante el torque producido por un motor que hace girar un cilindro metálico sumergido en la muestra a ensayar.

La resistencia que opone el fluido al movimiento producido por el cilindro metálico es la viscosidad del ligante asfáltico, característica intrínseca de cada material y está relacionado con su composición química y molecular.

En el Viscosímetro Rotacional se puede seleccionar la velocidad de giro del motor y el diámetro del cilindro. Pudiéndose realizar un barrido de viscosidades para distintas Temperaturas de ensayo en una misma muestra.

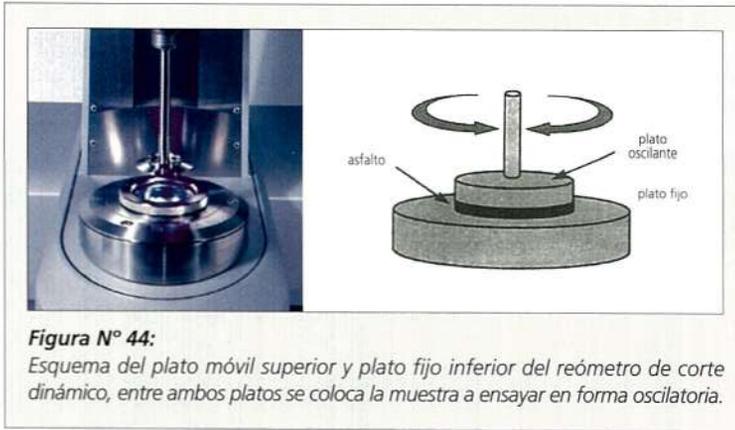


6.3.3 Reómetro de Corte Dinámico (DSR)

El Reómetro de Corte Dinámico se usa para medir las propiedades viscoelásticas (no newtoneanos) del Ligante Asfáltico.

El cemento asfáltico en un rango de temperaturas intermedias (10°C a 50°C), se comporta como material viscoelástico. Este comportamiento se caracteriza por una respuesta combinada ante una carga, formada por una componente viscosa y una componente elástica.

El reómetro puede aplicar un patrón sinusoidal de tensión de corte, sobre una muestra de cemento asfáltico, determinándose como respuesta la deformación. La respuesta del asfalto presenta una senoide de la misma frecuencia pero de distinta amplitud y desfasada en el tiempo. El mismo proceso se puede realizar aplicando su deformación en lugar de la tensión.



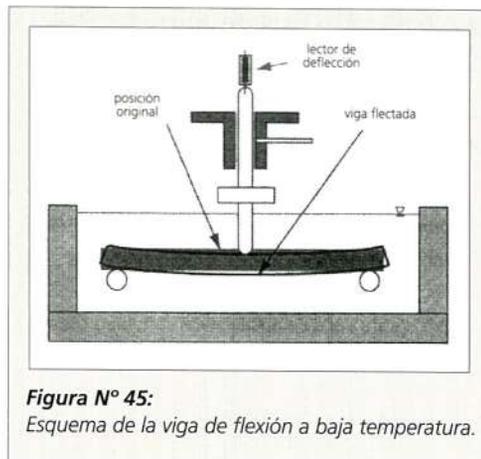
Comparando ambos patrones se obtienen dos importantes parámetros reológicos del asfalto:

Módulo Complejo (G^*): Razón entre la máxima tensión de corte aplicada y la máxima deformación obtenida. La magnitud de este parámetro indica la resistencia del asfalto a deformarse por esfuerzos de corte.

Angulo de Fase (δ): La respuesta del asfalto a temperaturas intermedias presenta ambos comportamientos, elástico y viscoso. Si la respuesta fuera puramente elástica sería inmediata, sin embargo la componente viscosa hace que la respuesta se retrarde. El ángulo de fase indica el grado de retraso de la respuesta, variando desde 0° (respuesta puramente elástica) hasta 90° (respuesta puramente viscosa).

6.3.4 Reómetro de Viga de Flexión (BBR)

El Reómetro de Flexión (Figura 45) se usa para estudiar el comportamiento reológico del asfalto a bajas temperaturas. Durante el ensayo se aplica una carga constante a una viga de asfalto y se registra su deflexión. A los 60 segundos de carga se mide la rigidez del asfalto (S_{60}) y la tasa a la cual la rigidez disminuye (valor m).



6.3.5 Ensayo de Tracción Directa (DTT)

El Ensayo de Tracción Directa (Figura 46) se usa para estudiar el grado de fragilidad del asfalto a bajas temperaturas.

El ensayo consiste en traccionar una muestra asfáltica hasta la rotura, registrando la deformación de falla (correspondiente a la máxima tracción).

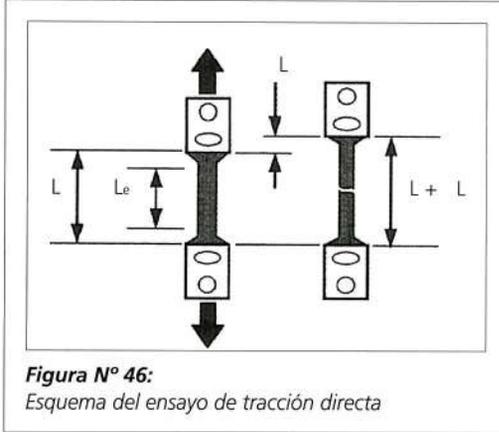


Figura N° 46:
Esquema del ensayo de tracción directa

6.4 GRADO DE DESEMPEÑO

Una de las principales diferencias con la especificación tradicional, se encuentra en el protocolo **Superpave**. Los resultados de los ensayos se mantienen constante variando sólo la temperatura de ensayo. Es decir, distintos grados asfálticos cumplen con las mismas propiedades físicas, pero a distintas temperaturas, dependiendo del clima en el cual se han usado.

El Grado de Desempeño se designa como: **PG XX – YY**.

Donde PG es el grado de desempeño, XX es la temperatura máxima promedio del pavimento medido a 20 mm de profundidad e YY es la temperatura mínima superficial del pavimento.

Los valores XX e YY se deben determinar en base a registros históricos de temperatura considerando un factor de confiabilidad.

Nota:

Para el uso de los grados de desempeño de la Especificación Superpave, es necesario tener un mapa con las condiciones climáticas de los sectores donde se utilizará cada cemento asfáltico.

6.5 UTILIZACIÓN DE LA ESPECIFICACIÓN SUPERPAVE

Las Especificaciones Superpave controlan la calidad de asfalto en distintas etapas de su vida útil, es decir, desde la mezcla en planta hasta varios años de servicio en terreno. La Tabla N° 23 muestra un diagrama que relaciona cada ensayo Superpave con la respectiva característica que se está midiendo y la condición de la muestra asfáltica requerida.

6.5.1 Primera Etapa

Durante la construcción de la mezcla asfáltica se requiere usar el cemento asfáltico a temperaturas que permitan su bombeo. Estas temperaturas deben ser tales que el asfalto pueda ser inyectado en el tambor mezclador y sea capaz de cubrir uniformemente las partículas de agregado.

Para verificar un buen comportamiento en esta etapa, Superpave especifica medir la viscosidad del asfalto a 135°C en el viscosímetro rotacional.

Se recomienda también hacerlo a 165°C para obtener la curva temperatura viscosidad y determinar las temperaturas de mezclado y compactación.

6.5.2 Segunda Etapa

Durante los primeros años de servicio (1 a 3), y especialmente en períodos calurosos, la mezcla es propensa a sufrir ahuellamiento. El ahuellamiento es la acumulación de pequeñas deformaciones no recuperables de la mezcla.

Para minimizar la contribución del asfalto al ahuellamiento se exige que éste tenga una alta rigidez a altas temperaturas y que tenga un comportamiento predominantemente elástico.

Para controlar el ahuellamiento, Superpave exige que el parámetro G^*/sen , que representa la rigidez a altas temperaturas, tenga un valor mínimo de 2.20 kPa, medido en el rango alto de temperaturas de servicio.

Este parámetro se mide en el Reómetro de Corte Dinámico, sobre muestras envejecidas en Horno de Película Delgada (PDR).

6.5.3 Tercera Etapa

Tras varios años en servicio, el asfalto alcanzará una condición de envejecimiento de largo plazo, por lo cual su rigidez habrá aumentado. En esta etapa el ahuellamiento ya no es un modo de falla probable, sino más bien es posible que se presenten problemas asociados al comportamiento sólido frágil del asfalto, como agrietamiento por fatiga y agrietamiento térmico.

Para prevenir el desarrollo de las grietas por fatiga, Superpave exige que el parámetro G^*sen , que representa la rigidez a temperaturas de servicio, tenga un valor máximo de 5000 kPa, medido en el rango de temperaturas de servicio. Este parámetro se mide en el Reómetro de Corte Dinámico, sobre muestras envejecidas en PDR y PAV (condición de envejecimiento de largo plazo).

Por otro lado, para minimizar la tendencia al agrietamiento térmico, Superpave controla los siguientes parámetros, medidos en muestras envejecidas en PDR y PAV:

Reómetro de Viga de Flexión (BBR): Se exige un valor S máximo de 300 MPa, es decir, el asfalto debe tener una baja rigidez. Se exige un valor mínimo de 0.3 para el valor m , lo que significa que el asfalto disminuye rápidamente su rigidez al estar bajo carga a baja temperatura.

Ensayo de Tracción Directa (DTT): La deformación de falla en tracción debe ser mayor al 1 %, para asegurar que el asfalto no se agrietará durante los ciclos de contracción térmica. Este ensayo sólo se requiere cuando los resultados en la Viga Reométrica no son totalmente satisfactorios.

Tabla N° 23: Muestra esquemática de la relación entre las especificaciones y los ensayos Superpave.

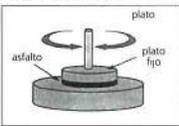
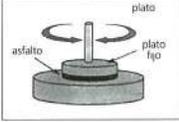
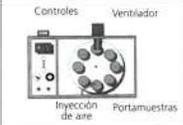
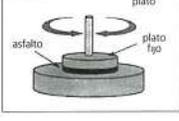
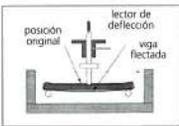
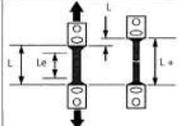
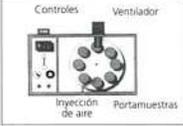
Etapas de Desempeño	Equipo Utilizado	Que Mide	Tipo de Muestra
Primera Etapa	Viscosímetro Rotacional  Reómetro de Corte Dinámico 	Fluidez para el Bombeo desde el Estanque Trabajabilidad y Facilidad en la Fabricación de la Mezcla en caliente	Muestra Original
Segunda Etapa	Reómetro de Corte Dinámico 	Deformación Permanente (Ahuellamiento)	Muestra Original y Muestra Envejecida en PDR 
Tercera Etapa	Reómetro de Corte Dinámico  Reómetro de Viga  Tracción Directa 	Fatiga Estructural del Material Fatiga Térmica del Material (CREEP) Fatiga Térmica (Contracción del Material)	Muestra Envejecida Primero en PDR y luego en PAV  

Tabla N° 24: Tabla resumida de especificaciones Superpave

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 64						PG70					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura máxima para el diseño, media móvil (7 días) de temperatura máxima de pavimento, °C (a)	< 64						< 70					
Temperatura mínima del pavimento para el diseño, °C. (a)	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40
LIGANTE ASFÁLTICO ORIGINAL												
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C.							230					
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa·s temperatura ensayo, °C (b)							135					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/sen δ, min. 1,00 kPa, temp. ensayo, °C (c)	64						70					
HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA, RTFOT (8.302.33)												
Pérdida de masa, porcentaje máx.							1,00					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/sen δ, min. 2,2 kPa, temp. ensayo, °C	64						70					
CAMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN, PAV (8.302.23)												
Temp. de envejecimiento, °C (d)	100						100 (110)					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*• senδ, máx. 5.000 kPa, temp. ensayo, °C	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19
Rigidez en creep, 8.302.25 a 60 s: S max 300 MPa, valor-m min 0,300 temp. Ensayo, °C. (e)	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tracción directa, 8.302.26, 1 mm/min: Deformación de rotura, min. 1,0% Temperatura ensayo, °C.	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

- Temperaturas del pavimento son estimadas a partir de las temperaturas del aire usando un algoritmo, o serán provistas por la Dirección de Vialidad.
- Este requerimiento puede ser omitido si así lo dispone la Dirección de Vialidad, siempre y cuando el proveedor garantice que el ligante asfáltico puede ser bombeado y mezclado a temperaturas que satisfagan todos los estándares de seguridad y calidad aplicables.
- Para el control de calidad en la producción de cemento asfáltico no modificado, la medida de la viscosidad puede realizarse por medición de G*/sen δ en el reómetro de corte dinámico a temperatura de ensayo donde el asfalto se comporta como fluido Newtoniano.
- La temperatura por usar en la cámara PAV está basada en la simulación de las condiciones climáticas y puede ser 90, 100 o 110° C. La temperatura para los grados asfálticos más altos, a partir del PG 58 es de 100° C, excepto en climas desérticos, donde es 110° C.
- Si la rigidez en creep (s) es menor a 300 MPa, el ensayo de tracción directa no se requiere. Si está entre 300 y 600 MPa, se puede usar los requerimientos de deformación de rotura en el ensayo de tracción directa en vez de los requerimientos de rigidez en creep. El valor de m, en ambos casos, debe ser mayor que 0,300.
- G*/sen δ: parámetro medido a altas temperaturas.
G* sen δ: parámetro medido a temperaturas intermedias.

Capítulo VII

7.1 INTRODUCCIÓN

Los selladores se encuentran formulados especialmente para sellar juntas, fisuras o grietas en pavimentos de hormigón o de asfalto.

El objetivo del sellador usado en pavimentos es formar un compuesto elástico y adhesivo, resistente a los cambios climáticos y a las diversas sollicitaciones (cargas) a las que estará sometido durante su vida útil, conservando sus cualidades de adherencia, flexibilidad y consistencia.

7.1.1 Tipos de Sellos de Juntas

Existen múltiples tipos de selladores que pueden ser utilizados en pavimentación, estos dependen de la calidad, tipo de material empleado en su fabricación, componentes utilizados, forma de aplicación, etc.

Para una buena elección del sellador es necesario considerar factores importantes como su elasticidad, adherencia y compatibilidad con los otros elementos constructivos.

La elasticidad es la capacidad del material de neutralizar la deformación producida por fuerzas externas. Esto significa que cuanto más elástico es un material mayor es su capacidad de compensar los movimientos de dilatación.

La calidad de un sello está considerablemente influida por su capacidad de adherencia. No todos los selladores son compatibles con otros elementos de construcción. Por ejemplo, hay varios tipos de siliconas son incompatibles con ligantes asfálticos, y hay siliconas ácidas incompatibles con fondos alcalinos como el cemento y el hormigón.

Si la fisura es pequeña y no ha continuado agrandándose, los especialistas aconsejan el uso de un sellador plástico a base de polímeros tales como siliconas, polisulfuros y poliuretanos, ya que son productos manejables al aplicar pero firmes.

En caso contrario, es preferible un sellador elástico de base asfáltica con capacidad de ensancharse hasta una cuarta parte de su espesor, conservando sus propiedades adherentes.

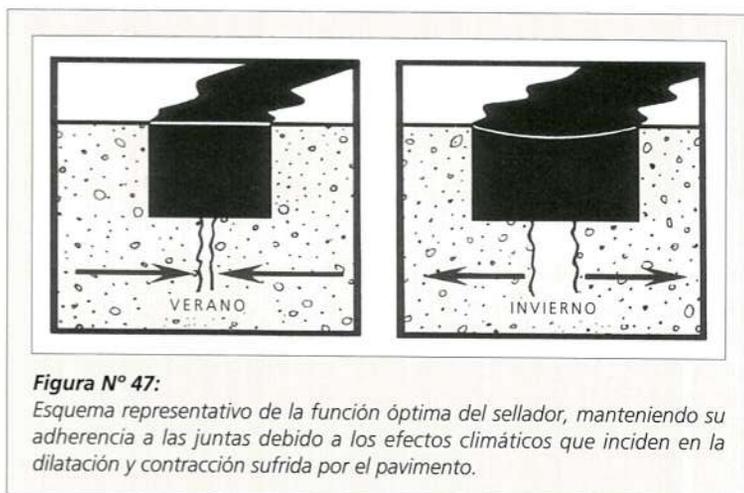
Campos de Aplicación de los Selladores para Pavimentos:

- Juntas de contracción y dilatación en losas de hormigón.
- Selladores de grietas en pavimentos de hormigón.
- Selladores de Juntas de canales.
- Selladores de grietas en pavimentos y superficies asfálticas.

7.1.2 Propiedades de los Selladores

Las propiedades que deben cumplir son:

- Sellar efectivamente las juntas, fisuras y grietas contra la infiltración de humedad y agua lluvia a lo largo de sucesivos ciclos de expansión y contracción.



- Excelente adherencia y compatibilidad con superficies de hormigón o asfalto.
- Alta resistencia a los cambios climáticos, conservando sus cualidades de adherencia, flexibilidad, consistencia a altas y bajas temperaturas.
- No fluir desde la junta ni ser arrancado por neumáticos de los vehículos.

7.2 ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS

Los selladores de aplicación en frío o en caliente han sido diseñados para tareas específicas.

Las especificaciones establecidas en la sección 8.700 del Volumen 8 del Manual de Carreteras, indican una ayuda para seleccionar un sellador apropiado. Estas han sido diseñadas para un uso general y es aconsejable seleccionar el sellador en una forma más "específica" según las características de cada proyecto en particular.

La Tabla 25 muestra los ensayos y especificaciones que deben cumplir los sellos de juntas para pavimentos de hormigón o asfalto descrito según Sección 8.700 del volumen 8 del Manual de Carreteras.

Tabla N° 25: Requisitos para algunos tipos de sellantes de juntas.

ENSAYES	8.701.1 (LNV 51)	8.701.2 (LNV 53)	8.701.3 (LNV 55)	8.701.4 (LNV 57)
Tipo de Producto	-	Elástico	Elastomérico	-
Tipo de Aplicación	En Frío	En Caliente	En Caliente	En Caliente
Uso	Hormigón, puentes y otras estructuras	Hormigón, puentes y otras estructuras	Hormigón de carreteras y aeropuertos	Pavimentos de Hormigón y Asfalto
Ensayes	Requisitos			
Penetración cono a 25°C, 150 g, 5 s, (0.1 mm)	Máx. 235	Máx. 90	Máx. 130	Máx. 90
Flujo a 60°C, 5 h, (mm)	Máx. 5	Máx. 5		Máx. 3
Flujo a 70°C, 5 h, (mm)			No Debe Fluir	
Ligazón a -5°C, 5 ciclos	Si se presenta alguna grieta o abertura en el sellante o entre el sellante y el mortero por sobre 6,5 mm, constituirá una falla del material. La falla de dos probetas de un grupo de tres constituye falla del material	No debe existir grieta, separación o abertura entre el sellante o entre el sellante y el bloque de mortero sobre 6,5 mm medidos perpendicularmente. Al menos 2 probetas ensayadas de un grupo de tres que representan una muestra dada, deben satisfacer los requisitos de ligazón.		
Ligazón a -5°C, 3 ciclos			No debe existir grieta, separación o abertura entre el sellante o entre el sellante y el bloque mortero sobre 6.5 mm medidos perpendicularmente. El total de las probetas ensayadas deben satisfacer los requisitos de ligazón.	No debe existir grieta, separación o abertura entre el sellante o entre el sellante y el bloque mortero sobre 6.5 mm medidos perpendicularmente. El total de las tres muestras, debe satisfacer estos requisitos para ligazón.
Resiliencia a 25°C, %			Mín. 60	Mín. 60

7.3 ENSAYES REALIZADOS A LOS SELLANTES DE JUNTAS

7.3.1 Ensaye de Penetración Cono

Objetivo: Este método describe un procedimiento para determinar el grado de dureza, mediante un equipo denominado penetrómetro. A menos que la especificación describa otra cosa, la penetración se realiza por medio de un cono estándar que penetra verticalmente dentro de la muestra, bajo condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo.

Resumen del método: A menos que se indique otra cosa, la masa total del conjunto cono vástago y abrazadera suma 150 grs. Coloque la punta del cono en contacto con la superficie de la muestra. Haga tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados

7.3.2 Ensaye de Flujo

Objetivo y alcance: El objetivo del ensaye es verificar si el ligante fluye por efecto de las altas temperaturas que se pueden presentar en pavimentos cuando presentan cierta pendiente. Éste se realiza a cualquier sellante que se encuentra bajo las especificaciones descritas en la Tabla N° 25.

Resumen de la preparación: Cualquiera sea el tipo de sellante, se vierte una porción de muestra dentro de un molde 40 x 60 x 3 mm, el cual es colocado sobre un panel de hojalata brillante. El panel debe tener alrededor de 60 x 100 mm.

Se llena el molde con un exceso de sellante e inmediatamente después se corta el exceso hasta dejarlo a ras con el tope del molde. Se Cura por 24 h en ambiente entre 21 y 27 °C o de acuerdo a lo especificado por el proveedor del producto.

Resumen del Método: El panel conteniendo la muestra de ensaye se coloca en un horno a la temperatura y tiempo de ensaye definido. El panel debe quedar de modo que el eje longitudinal de la muestra forme un ángulo de 75 ± 1 grados con la horizontal y el eje transversal quede en paralelo a la horizontal. Desde el punto inferior inicial se mide la distancia recorrida por la muestra durante el período de ensaye, aproximando a 1 mm. Se informa esta distancia como el flujo.

7.3.3 Ensaye de Ligazón

Este ensaye se realiza en un equipo conocido como máquina de elongación.

a. Preparación de las probetas de ensaye

Bloques de Mortero.

Se deben preparar los bloques de mortero de cemento en la forma descrita en Sección 8.702 del Volumen 8 del Manual de Carreteras.

Armado de las probetas de ensaye.

Arme dos bloques de mortero preparados de acuerdo a la Figura N° 48, de manera de lograr una probeta de ensaye ajustada a la siguiente descripción.

Ponga los bloques de mortero separados una distancia N determinada según el tipo de sello, utilizando bloques de metal tratados con desmoldante, puestos a una distancia tal de sus extremos que se forme una abertura de N x 50 x 50 mm entre el material y los bloques.

Recuerde que N es el espesor de material que hay entre los bloques mortero, el cual dependerá del tipo de sellante a utilizar, según se describe en Tabla N° 25 y se especifica en el Punto 8.702 del Volumen 8 del Manual de Carreteras.

De acuerdo a las indicaciones del proveedor, vierta el sellante en el espacio entre los bloques, en cantidad suficiente. Deje la muestra a temperatura ambiente por el tiempo determinado por el proveedor para su curado y remueva el exceso de material que sobresale desde el tope y fondo de los bloques mortero, cortando con un cuchillo o espátula caliente.

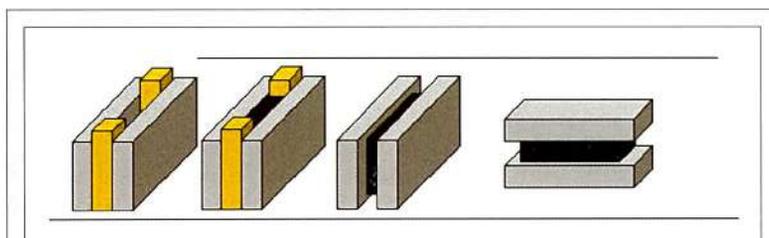


Figura N° 48:

Descripción esquemática del armado de las probetas para el ensayo para Ligazón.

b. Resumen del Procedimiento

Elongación.

Salvo que se especifique otra cosa, el ensayo de elongación debe realizarse a -5°C , y a -15°C cuando el producto se use en zonas cordilleranas o en las Regiones XI y XII.

Enfríe las probetas a la temperatura de ensayo especificada por un tiempo determinado.

Después, remueva los bloques metálicos y monte las probetas en las mordazas de la máquina de elongación a la temperatura de ensayo. Encienda el equipo y traccione la probeta 12.5 mm a una velocidad uniforme de aproximadamente 3 mm/h, (En el caso de ensayar probetas de espesores de 25 mm, estas se elongan un 50%)

Examen de las Probetas.

Después del ensayo de elongación, remueva las probetas de la máquina y examínelas. Registre el ancho y profundidad de cualquier grieta, separación o abertura en el sellante, o entre el sellante y los bloques de mortero.

Compresión.

Después de examinar las probetas, coloque los bloques espaciadores metálicos entre los bloques de mortero, así como la probeta, para que permanezca sobre un bloque superior de mortero tal que el peso del bloque superior comprima el sellante.

Si después de transcurridas 2 hrs. a la temperatura de la sala, la probeta no se ha comprimido a su espesor original, colóquela en la máquina de ensayo y comprima a una velocidad aproximada de 3 mm/min.

Repetición de Ciclos.

Salvo que se especifique otra cosa, considere cinco o tres ciclos de elongación, examen y compresión, como un ensayo completo de ligazón. Entre ciclos repetitivos, el producto puede ser almacenado a la temperatura de la sala o a la temperatura de ensayo especificada. En todo caso, cuando se almacene a la temperatura de la sala, las probetas deben estar expuestas a la temperatura de ensayo especificada por a lo menos 4 horas antes de repetir la elongación.

7.3.4 Ensaye de Resiliencia

Objetivo y Alcance: Éste ensaye se realiza para determinar el grado de elasticidad que posee un material. El ensaye se realiza a algunos tipos de sellos de juntas, éste método de ensaye se propone como requisito para obtener el grado de elasticidad de los sellantes.

El equipo utilizado para el ensaye es el mismo que se utiliza en el ensaye de penetración, cambiando la aguja de penetración por una bola de penetración.

Teoría: la resiliencia es la capacidad de un material de recobrar su forma original después de haber sido sometido a una fuerza de deformación. Aquellos materiales que no recuperan su forma se denominan viscosos, y aquellos materiales que recuperan su forma se denominan elásticos.

Resumen del Método: Se coloca la bola de penetración en la superficie de la muestra, a temperatura y peso específico, se suelta el vástago de bola de penetración, permitiendo que penetre en la muestra, tras lo cual se aplica una fuerza vertical específica, hundiendo la bola en el material por un determinado tiempo. Una vez retirada la bola, se da un tiempo al material para que recupere su forma original. Se lee el dial una vez finalizado el tiempo de recuperación.

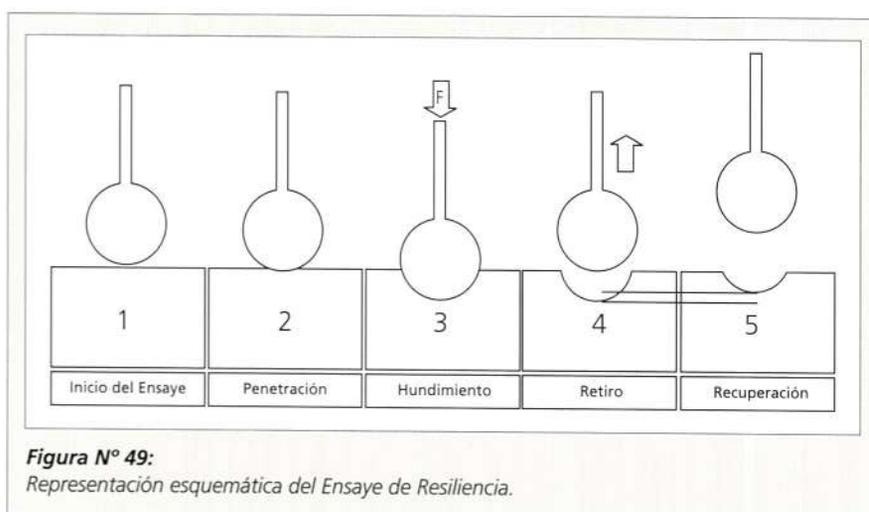


Figura N° 49:
Representación esquemática del Ensaye de Resiliencia.

7.4 CONSIDERACIONES PARA OBRAS DE MANTENIMIENTO VIAL

En obras de conservación o mantenimiento, además de la especificaciones indicadas en la Tabla N° 25, se debe tener en cuenta las consideraciones definidas en el punto 7.305 del Volumen 7 del Manual de Carreteras, referente a los tipos de sellos de juntas a emplear dependiendo del ancho de la junta:

Juntas de hasta 12 mm de ancho. Se sellarán con productos que tengan una deformación admisible entre el 20% y el 30%, y que cumplan con los requisitos establecidos en los Métodos LNV 53, LNV 55 o LNV 57, según corresponda, de acuerdo con la composición del sellador.

Juntas de ancho entre 12 mm y 20 mm. Se sellarán con productos del tipo termoplástico aplicados en caliente, que tengan una deformación admisible entre el 10% y el 20% y que cumplan con lo estipulado en los Métodos LNV 53, LNV 55 o LNV 57, según corresponda de acuerdo a la composición del sellador.

Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm y grietas entre 3 mm y 30 mm de ancho y grietas longitudinales. Se sellarán con un producto tipo mastic asfáltico modificado con polímero que cumpla con los siguientes requisitos:

Tabla N° 26: Ensayes realizados a Mastic Asfáltico Modificado

Ensaye	Requisito	Norma
- Penetración*, 25°C, 100g, 5s, (0.1 mm)	máx. 60	LNV 34
- Ductilidad, 0°C, mm	mín. 20	LNV 35
- Filler, porcentaje en peso	máx. 25	
- Punto Ablandamiento, °C	mín. 58	LNV 48

***Nota:**

El ensaye de penetración descrito en la tabla 7.2, se realiza utilizando aguja de penetración, tal como se describe en acápite 5.1.1, Sección 5 el Capítulo I "Ligantes".

Juntas y grietas de ancho superior a 30 mm. Se sellarán con una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18% de emulsión. La arena deberá ajustarse a alguna de las granulometrías indicadas a continuación:

Tabla N° 27: Granulometrías de Arenas para Sellado

Tamiz		Porcentaje en Peso (% que pasa)		
mm	(ASTM)	A	B	C
12.5	(1/2")	—	—	100
10	(3/8")	100	100	85 - 100
5	(N° 4)	85 - 100	85 - 100	55 - 85
2.5	(N° 8)	80 - 90	65 - 90	35 - 65
0.63	(N° 30)	55 - 80	30 - 50	15 - 35
0.16	(N°100)	5 - 15	5 - 15	2 - 10

7.5 PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS EN LOSAS NUEVAS DE HORMIGÓN

Resumen del Punto 5.410.311, Sección 5.410 del Volumen 5 M.C.

Previo al sellado, todas las juntas deben ser aserradas de manera de formar una caja según las dimensiones descritas en Sección 5.410 del Volumen 5 del Manual de Carreteras.

Una vez formada la caja, se debe eliminar todos los desechos en la junta y caja, para luego barrer con una escobilla de acero y terminar con un soplado con aire comprimido. Después de limpiar, la superficie de la caja se trata con un imprimante si corresponde.

Al fondo de la caja se debe colocar un cordón de respaldo perfectamente ajustado, construido de un material que no se adhiera con el sello a emplear, ligeramente más ancho que la caja a sellar, el cual debe quedar perfectamente alineado a la profundidad establecida, sin pliegues o curvaturas.

Las operaciones de mezclado o preparación de las mezclas de sellado se efectúan con equipos adecuados, que aseguren productos homogéneos. La mezcla y homogenización de productos líquidos se efectúan con equipos mecánicos de agitación.

Los productos de aplicación en caliente deben utilizar calentadores que cuenten con dispositivos que permitan controlar la temperatura, poseer un sistema mecánico de agitación y un dispositivo de control a la temperatura en la boquilla de aplicación del sellante.

El sellado se realiza con equipos adecuados para asegurar un vaciado continuo y uniforme.

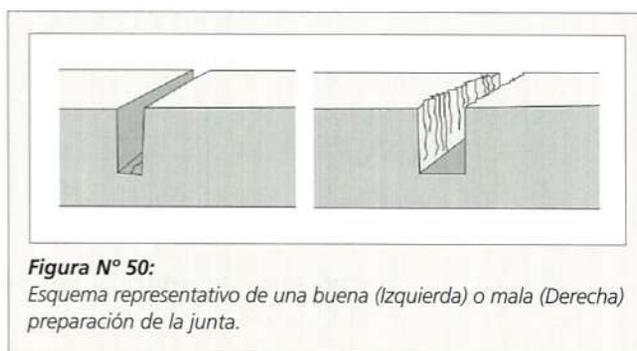
La profundidad de colocación del sello debe ser igual al ancho de la caja. La operación debe ser limpia, rellenando exclusivamente las áreas requeridas entre 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sólo se debe sellar cuando la temperatura ambiente sea superior a 5°C e inferior a 30°C. Las juntas deben encontrarse perfectamente secas antes de iniciar el sellado.

7.6 PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS O GRIETAS EN OBRAS

7.6.1 Limpieza.

Las juntas y grietas que contengan restos de sellos antiguos o materias extrañas, deberán limpiarse completa y cuidadosamente en toda su profundidad. Para ello se deberán utilizar sierras, herramientas manuales u otros equipos adecuados que permitan remover el sello o relleno antiguo sin afectar al hormigón. No deberán utilizarse barretas, chuzos, equipos neumáticos de percusión u otras herramientas o elementos destinados a picar la junta o que puedan soltar o desprender trozos de hormigón.



Todas las juntas, fisuras y grietas deben ser sometidas a una rigurosa limpieza antes de su colocación, asegurándose que la superficie quede libre de polvo, material suelto u otros contaminantes.

En general no se deberán usar solventes para remover el sello antiguo, salvo que se demuestre que el procedimiento no significará transportar contaminantes hacia el interior de la junta, ni una impregnación mayor del hormigón con aceite u otros materiales. Antes de la aplicación, la junta, grieta o fisura deberá estar seca y limpia.

Una vez removido el sello antiguo se procederá a repasar cuidadosamente barriendo con una escobilla de acero, que asegure la eliminación de cualquier material extraño o suelto.

La limpieza deberá terminar con un soplado con aire comprimido con una presión mínima de 120 psi, que elimine todo vestigio de material contaminante, incluso el polvo.

Antes de utilizar este equipo se deberá constatar que el aire expulsado esté completamente libre de aceite.

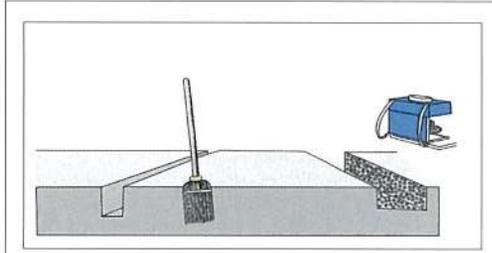


Figura N° 51:
Esquema representativo de Limpieza de una Junta.

7.6.2 Imprimación.

Especial cuidado se debe dar a la imprimación, en los casos que la especificación del proveedor lo exija, de modo de producir una perfecta adherencia entre el sellador y las paredes de las juntas o grietas.

Evite colocar imprimante en forma dispareja o en forma discontinua.

7.6.3 Preparación de la junta o grieta, de acuerdo a su ancho

Sellado de Juntas de hasta 12 mm de Ancho.

Las juntas que carezcan de una caja en su parte superior deberán aserrarse para conformar una caja, de espesor mínimo entre 8 mm y 12 mm de ancho y entre 22 y 35 mm de profundidad, según el tipo de sellante y respaldo a emplear.



Figura N° 52:
Equipos utilizados para ranurar la grieta, detalles de la sierra puesta en el equipo y un tipo de sierra utilizada para el ranurado.

El cordón de respaldo deberá ajustarse a lo recomendado por el fabricante del material sellante, y ser ligeramente más ancho que la junta de manera que ajuste bien. Deberá quedar perfectamente alineado a una profundidad constante y sin pliegues o curvaturas.

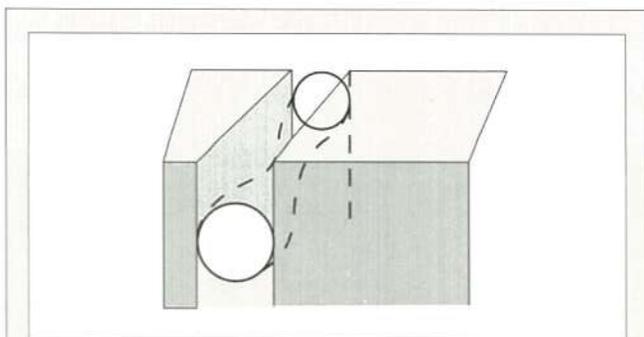


Figura N° 53:

Esquema representativo de mala colocación de un cordón de respaldo, evite siempre que el cordón de respaldo tenga pliegues o curvaturas.

Cuando el fabricante del sellador recomiende usar imprimante, éste se deberá colocar en forma pareja cubriendo las dos caras de la junta, utilizando procedimientos aprobados.

El sellante deberá cubrir el ancho de la caja y quedar entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sellado de Juntas de ancho entre 12 mm y 20 mm.

Para estas juntas se seguirá un procedimiento similar al descrito anteriormente, salvo que el ancho de la caja será de hasta 20 mm, y su profundidad la necesaria para colocar el cordón de respaldo, un sellante de mínimo 14 mm de profundidad y que queden 4 a 5 mm libres entre la cara superior del sellante y la superficie del pavimento.

Las juntas clasificadas en este grupo deberán sellarse con productos termoplásticos.

El imprimante debe ajustarse a las recomendaciones del fabricante del sellante.

Sellado de Juntas de Ancho entre 20 mm y 30 mm.

Se sellarán con productos del tipo mástic asfáltico que se ajusten a lo estipulado en Tabla N° 25. La profundidad del sello será como mínimo de 15 mm, debiendo quedar de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sellado de Grietas de Ancho entre 3 mm y 30 mm.

Se deberá biselar los bordes mediante equipo esmerilador u otro apropiado, de manera de formar una cavidad de 6 mm de ancho mínimo. Se sellarán con productos tipo mastic asfáltico que cumplan con lo dispuesto en Tabla N° 26.

El espesor del material sellante será como mínimo de 15 mm, cualquiera fuere el ancho superficial de la grieta, y deberá quedar entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sellado de Juntas y Grietas de Ancho Superior a 30 mm.

Las juntas y grietas de más de 30 mm de ancho se limpiarán de acuerdo con lo descrito anteriormente, y se sellarán con una mezcla de arena-emulsión asfáltica siempre que el ancho promedio no exceda los 100 mm, en cuyo caso el sellado se hará con una mezcla en caliente.

En ambos casos el espesor del material sellante será como mínimo 20 mm. El relleno deberá quedar entre 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Las paredes de las juntas y grietas deberán imprimarse con emulsión asfáltica de quiebre lento.

7.7 CONSIDERACIONES GENERALES

Salvo que las instrucciones del proveedor indiquen otra cosa, o cuando se utilice un imprimante en base de emulsiones asfálticas, las juntas y grietas deberán encontrarse perfectamente secas antes de comenzar el sellado.

Sólo se podrá proceder a sellar cuando la temperatura ambiental sea superior a 5°C e inferior a 30°C.

El mezclado o la preparación de mezclas, según corresponda, deberá realizarse con equipos mecánicos adecuados que aseguren productos homogéneos y de características constantes.

El mezclado y homogeneización de productos líquidos se deberá efectuar con equipos de agitación mecánicas que no superen las 150 RPM.

Los calentadores deberán disponer de controles que permitan variaciones de la temperatura, incluso podrá ser necesario calentar en una baño de aceite. En ningún momento la temperatura máxima de colocación recomendada por el fabricante podrá ser sobrepasada. Tampoco deberá colocarse el sellante a una temperatura inferior en 6°C respecto de la recomendada.

El sellado deberá ejecutarse con equipos mecánicos adecuados para asegurar un vaciado continuo y uniforme, que no deje espacios intermedios sin rellenar.

La operación además deberá ser limpia, rellenando exclusivamente las áreas requeridas. Cualquier material de sello que manche zonas del pavimento fuera de la grieta o junta deberá ser completamente retirado.

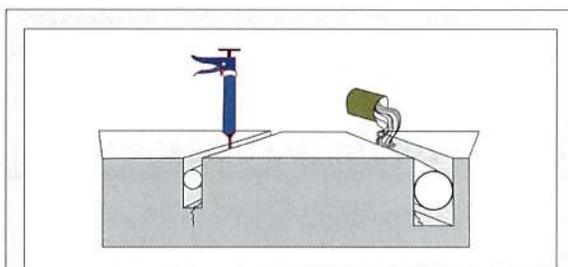


Figura N° 54:

Esquema representativo de una buena aplicación (Izquierda) y de una mala colocación (Derecha) de un Sellante.

Importante:

El sellante siempre debe quedar bajo el nivel del pavimento.

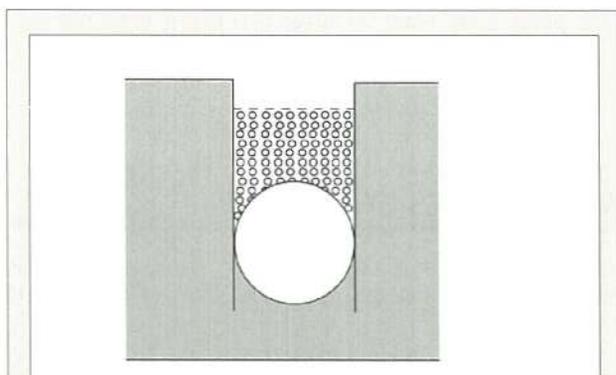


Figura N° 55:

Esquema representativo de una buena colocación del Sellante de Junta. Para mayor detalle de espesor, cantidad y profundidad del sello véase Planos de Obras Tipo descrito en 4.201.102 del Volumen 4 del Manual de Carreteras o de acuerdo a las especificaciones del material señaladas por el proveedor.

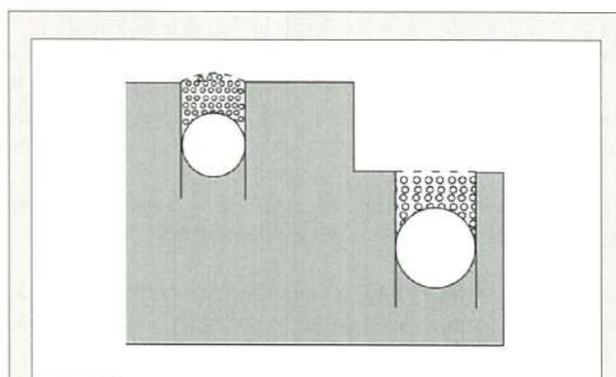


Figura N° 56:

Esquema representativo de una mala colocación del Sellante. Ésta nunca deberá quedar por sobre o a nivel del pavimento.

7.8 DETERMINACIÓN DEL ANCHO ÓPTIMO DEL SELLO DE LA JUNTA

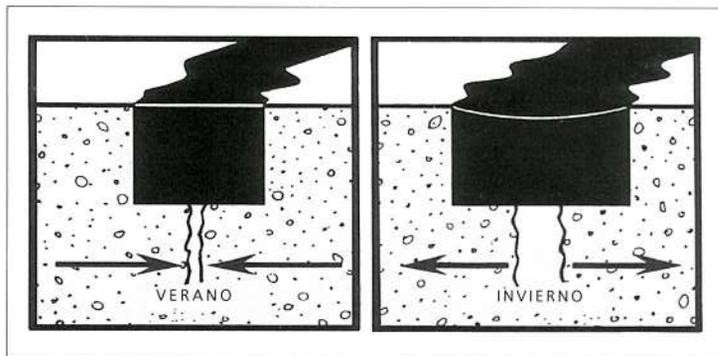
Se considera que una junta tiene un ancho óptimo, si el cambio en su ancho es igual al coeficiente de expansión/compresión (movimiento cíclico) del sellante.

Dimensión Óptima de la Junta:

La dimensión óptima de una junta se ve afectada por dos factores:

1. Por la variación del ancho de la junta (A), debido a cambio en el largo de la separación. El largo de la separación depende de:
 - (a) El coeficiente de dilatación térmica (α) del material usado en la construcción (por ejemplo: concreto, aluminio, vidrio, hormigón, etc.);
 - (b) Fluctuaciones de temperatura (ΔT) a la cual están expuestos los elementos de la construcción.

2. La capacidad o coeficiente de cualquier sellante para ajustarse a los cambios en el ancho de la junta (A), ya sean cambios por expansión y/o compresión.



La capacidad de expansión/compresión (C) está expresada por un número que indica hasta qué porcentaje de su ancho original un sellante puede expandirse o comprimirse continuamente, éste es intrínseco a cada material.

El ancho de la junta estará dado por:

$$A = \Delta L / C$$

Donde

$$\Delta L = \alpha \times \Delta T \times L_0$$

Siendo

- ΔL : Variación máxima de longitud que puede experimentar el paño
- L_0 : Dimensión original de la losa.
- α : Coeficiente de dilatación térmica del Hormigón ($1 \cdot 10^{-5}$ mm/mm°C)
- ΔT : Diferencia de Temperatura

Cálculo del Diferencial Máximo de Temperatura:

Para conseguir resultados correctos, es necesario también tomar en cuenta la variación máxima de Temperatura (ΔT).

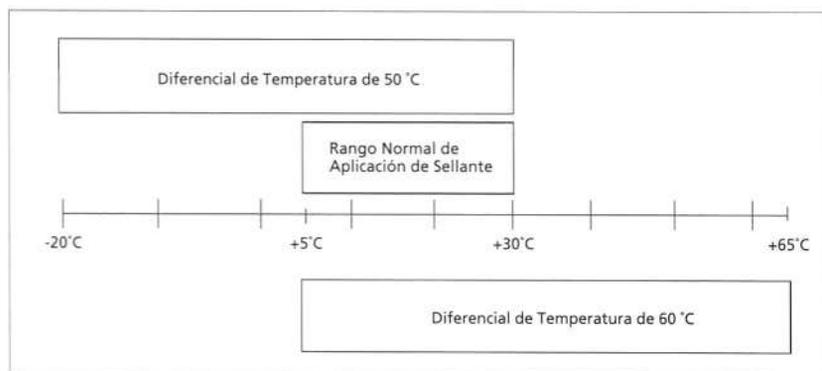
Tomemos el siguiente ejemplo: En un clima cualquiera, donde el concreto puede tener las siguientes temperaturas extremas:

Temperatura máxima: +65°C.

Temperatura mínima: -20°C.

Sin embargo, se debe recordar que el sello se aplica a temperaturas entre un rango de +5°C y +30°C.

Así, el diferencial máximo de temperatura (ΔT) que realmente se produce se puede calcular del modo siguiente:



De acuerdo a lo anterior, el diferencial máximo de temperatura (ΔT), en el ejemplo es de 60°C.

Si en la aplicación del sellante asumimos un rango de temperatura menor, por ejemplo: +15°C hasta +25°C, el diferencial máximo de temperatura que se produce es de 50°C.

Si se llenan las juntas a 22,5°C, el máximo diferencial efectivo de temperatura cae a 42,5°C.

Sin embargo, puede ser difícil determinar con anticipación la temperatura exacta de la aplicación. Por tanto, con el propósito de establecer el diferencial de temperatura, es necesario asumir que se hará el trabajo en un rango de temperatura entre +5°C y +30°C.

Ejemplo de Cálculo

Problema:

Calcule el ancho óptimo de una junta entre losas de concreto que tienen un largo de 4 m.

Asuma que las temperaturas extremas de la losa será -20°C y +65°C. La aplicación del sellante se efectuó entre +15°C a +25°C.

La capacidad de extensión /compresión del sellante es de $\pm 30\%$ de su dimensión original.

Se tienen los siguientes Datos:

- Coeficientes de Dilatación Térmica del hormigón (α) es de 1×10^{-5} mm/mm/°C.
- Fluctuación de temperatura (ΔT), es de 50°C
- Capacidad de extensión/compresión del sello (C) es de $\pm 30\%$
- Largo de la losa (L_0) es de 4 m.
- La variación máxima de longitud que puede experimentar la losa es de (ΔL):

$$\Delta L = \alpha \times \Delta T \times L_0$$

donde $\alpha = 1 \times 10^{-5} \frac{mm}{mm \cdot ^\circ C}$

$$\Delta T = 50^\circ C$$

$$C = \pm 30\%$$

$$L_0 = 4.0 \text{ m} = 4000 \text{ mm}$$

$$\Delta L = 1 \times 10^{-5} \frac{mm}{mm \cdot ^\circ C} \times 50^\circ C \times 4000 \text{ mm} = 2,0 \text{ mm}$$

$$\Delta L = 2,0 \text{ mm}$$

El ancho de la junta en mm es:

$$A = \frac{\Delta L}{C} = \frac{2,0}{30\%} \cdot 100\% = 6,7 \text{ mm}$$

Suponiendo que la junta se hace un poco mayor, por ejemplo, en 8 mm de ancho, se tiene:

$$\frac{2,0}{8,0} \cdot 100 = 25\%$$

Esto quiere decir que la junta trabaja más aliviada y durara más, ya que el sellante puede trabajar hasta 30%.

ANEXO A

MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO RESUMEN 8.302.2, VOL. 8 M.C. (LNV 16)

1. Alcances y Campo de Aplicación.

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

2. Calibración.

Calibre el equipo determinando la masa del picnómetro limpio y seco con tapa y désignela como A.

Sumerja el picnómetro lleno con agua destilada y manténgalo en una baño de agua destilada por 30 min. a la temperatura de ensaye. Retire el picnómetro, seque toda humedad superficial y la masa désignela como B.

3. Procedimiento para Asfaltos Líquidos de Baja Viscosidad.

Vierta el ligante asfáltico dentro del picnómetro hasta llenarlo, evitando la inclusión de burbujas de aire. Coloque la tapa del picnómetro y limpie con un paño el exceso de material que se hubiere derramado a través del orificio. Determine la masa del picnómetro y su contenido y désignela como C.

Calcule la densidad del asfalto como:

$$\rho_b = \frac{C - A}{B - A} \cdot \rho_w \cdot 1000$$

donde:

ρ_w : Densidad del agua a la temperatura de ensaye (g/cm^3).

ρ_b : Densidad del asfalto a la temperatura de ensaye (Kg/m^3).

4. Procedimientos para Cementos Asfálticos.

En una condición fluida, vierta la muestra dentro del picnómetro limpio y seco, hasta la mitad. Evite que la muestra toque las paredes del picnómetro por encima del nivel de llenado y evite la inclusión de burbujas de aire, enfríe a temperatura ambiente y determine la masa con la tapa incluida, designándola como C.

Termine de llenar el picnómetro con agua destilada, coloque la tapa y sumérjalo en un baño a la temperatura de ensaye por 30 min. Retire el picnómetro del vaso y séquelo con un paño. Determine la masa y designela como D.

Determine la densidad del asfalto de acuerdo a la fórmula:

$$\rho_b = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \cdot \rho_w \cdot 1000$$

donde:

ρ_w : Densidad del agua a la temperatura de ensaye (g/cm^3).

ρ_b : Densidad del asfalto a la temperatura de ensaye (Kg/m^3).

ANEXO B

MÉTODO ESTÁTICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA

AGREGADO – LIGANTE ASFÁLTICO

RESUMEN

RESUMEN 8.302.29, VOL. 8 M.C. (LNV 9)

1. Objetivo y Alcance

Éste procedimiento se usa para determinar la adherencia del asfalto con el agregado grueso en agua. Se aplica para cementos asfálticos, asfaltos cortados y emulsiones asfálticas.

2. Resumen del Método:

a. Mezclado

Se coloca 100 g de agregado seco en un recipiente y se agrega (depende del tipo de ligante):

- 5.5 ± 0.2 % de cemento asfáltico a 140°C
- 5.5 ± 0.2 % de asfalto cortado, y se deja curar en horno a 60°C
- 8 ± 0.2 %, en el caso de una emulsión asfáltica, y se deja curar en horno a 110°C

Los porcentajes están referido al peso del agregado seco. El revestimiento asfáltico debe ser completo después del mezclado; no se aceptarán puntos descubiertos.

b. Inmersión

La mezcla se coloca en un frasco y se cubre con agua destilada a temperatura ambiente por 16 a 18 horas a $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

c. Evaluación

Se determina visualmente, sin sacar del agua y sin agitación, el área del agregado que queda cubierta por el ligante asfáltico, se informa se éste es mayor o es menor a 95%.

Se recomienda que esta estimación se realice con ayuda de una lámpara, colocada en una posición que no estorbe el reflejo en la superficie del agua. Cualquier área delgada oscura o semitransparente se considerará cubierta.

ANEXO C

MÉTODO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO – LIGANTE ASFÁLTICO MEDIANTE CARBONATO DE SODIO (RIEDEL – WEBER) RESUMEN 8.302.30, VOL. 8 M.C. (LNV 10)

1. Objetivo y Alcance

Este método establece un procedimiento para determinar el grado de adherencia de ligantes asfálticos con agregados finos mediante el uso de soluciones de carbonato de sodio. Se aplica para cementos asfálticos, asfaltos cortados y emulsiones asfálticas.

2. Resumen del Procedimiento

Se tamiza el agregado seco hasta masa constante entre los tamices N° 30 y N° 200. La muestra tamizada se mezcla en una proporción de 71 volúmenes de muestra con 29 volúmenes de asfalto.

$$\text{Masa asfalto} = \rho_{\text{asfalto}} \cdot 29\text{cc} = 1 \frac{\text{grs}}{\text{cc}} \cdot 29 \text{ cc} = 29 \text{ grs}$$

a. Procedimiento de Mezclado

Adherencia con Cemento Asfáltico: Mezclar a 110 ± 5 °C. Dejar enfriar durante 1 hora a la temperatura ambiente en un recipiente abierto.

Adherencia con Asfaltos Cortados: La temperatura de mezclado es de 60 ± 3 °C y se cura en el horno durante 5 horas a la temperatura de 110 ± 5 °C.

Adherencia con Emulsiones: Se mezcla a temperatura de 20 ± 3 °C y se prepara la mezcla a razón de 29 volúmenes de emulsión con 71 volúmenes de agregado. Una hora después de efectuada la mezcla se coloca en horno durante 24 horas a la temperatura de 35 ± 3 °C.

b. Procedimiento de Ensayo

Se Coloca 0.5 g de mezcla en un tubo de ensayo, agregar 6 cm³ de agua destilada y se lleva a ebullición agitando durante 1 minuto.

Una vez terminada la ebullición llenar de agua el tubo de ensayo, agitar y observar el aspecto de la mezcla; hay despegue total cuando los granos se mantengan desunidos y no se adhieran, o habrá despegue parcial si los granos desunidos pegan aún entre sí.

Se podrá verificar el despegue vertiendo en un vidrio reloj el contenido del tubo de ensayo, previamente agitado en agua. Si el despegue no es total las partículas permanecerán unidas en el fondo del tubo, en caso contrario las partículas despegadas son arrastradas al vidrio reloj, donde podrán ser examinadas.

Si este ensayo preliminar indica que la adherencia es buena, tomar una nueva muestra de 0.5 g de mezcla con 6 cm³ de solución de carbonato de sodio de concentración creciente según la Tabla de concentración de soluciones y hervir agitando por un minuto.

Se informará como adherencia agregado – bitumen : a – b

Donde:

a: Inicio del despegue

b: Final del despegue

3. Preparación de soluciones

Las soluciones de carbonato de sodio usadas están indicadas en la tabla adjunta.

La concentración molar M se obtienen disolviendo 106 g de carbonato de sodio puro y seco en 1 lt de agua destilada. Las soluciones M/2, M/4, M/8, etc se obtienen diluyendo la solución precedente o bien disolviendo la cantidad correspondiente de carbonato de sodio. Las adherencias correspondientes a cada solución se designan con los números 0 a 10.

Concentración de Soluciones	Concentración	Grado de adherencia
Agua destilada		0
Solución de Na_2CO_3	M/256 – 0.414 g/l	1
	M/128 – 0.828 g/l	2
	M/64 – 1.656 g/l	3
	M/32 – 3.312 g/l	4
	M/16 – 6.624 g/l	5
	M/8 – 13.250 g/l	6
	M/4 – 26.50 g/l	7
	M/2 – 53.00 g/l	8
	M – 106 g/l	9
Sí no hay despegue total en la solución		10

ANEXO D

MÉTODO DINÁMICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO – LIGANTE ASFÁLTICO

RESUMEN

RESUMEN 8.302.31 VOL. 8 M.C. (LNV 44)

1. Alcances y Campo de Aplicación.

Este método sirve para apreciar la resistencia de las mezclas asfálticas o la pérdida del cubrimiento de la película de asfalto en las partículas de agregado pétreo. Generalmente se utiliza para evaluar el comportamiento del agregado mineral, pero también puede usarse para juzgar la capacidad adhesiva del ligante asfálticos. El ensaye se aplica a los agregados pétreos que pasan el tamiz 10 mm y son retenidos en el tamiz 2,5 mm.

2. Preparación de la Muestra.

Procese el agregado de forma similar al procedimiento de construcción; por ejemplo, lávelo si ha de usarse lavado, de otra manera ensáyelo como se recibió.

Haga el ensaye de adherencia en la fracción de agregados entre 10 y 5 mm y en agregados combinados entre 5 y 2,5 mm, que representen la mezcla.

Si el agregado se recibe tal como va a ser utilizado, prepare dos muestras representativas para efectuar el ensaye por duplicado.

3. Mezclado.

3.1 Mezcle 60 g de agregado con el ligante asfáltico que se va a utilizar en la construcción. La cantidad de asfalto varía entre 4 a 8% en peso del agregado, dependiendo de las características de absorción y textura del agregado. Deben mezclarse los agregados y el tipo de asfalto a la temperatura que se va a utilizar en la construcción.

3.2 Cuando use emulsión asfáltica como ligante asfáltico, humedezca el agregado completamente antes de aplicar. Después que se ha añadido la emulsión (10 g son usualmente suficientes), mézclelo completamente permitiéndole reposar 2 ó 3 min; remezcle y deje drenar el exceso. Cure la emulsión por 15 h a 60°C.

4. Procedimiento de Ensaye.

Terminado el curado, coloque la muestra en el frasco de vidrio de 240 ml. Enfríe el frasco con la muestra en un baño de agua a 25°C y añada 175 ml e agua a la misma temperatura.

Coloque el frasco con la muestra en la máquina agitadora y durante 15 min. Quite el frasco del aparato y estime visualmente el porcentaje de agregado que perdió recubrimiento asfáltico.

Es recomendable efectuar simultáneamente un ensaye con un material de reconocida buena adherencia para que sirva de patrón de comparación.

5. Informe. Informe los resultados en uno de los siguientes términos:

"Adherencia buena " (si hay más del 95 % del área cubierta), "Adherencia regular" (si hay entre 95% y sobre 75% del área cubierta) y "Adherencia mala" (hay 75% o menos porcentaje de área cubierta)

ANEXO E

MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PÉTREOS EMPLEADOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES RESUMEN 8.302.14 VOL. 8 M.C. (LNV 8)

1. Objetivo y Alcance.

Este método establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. Este método es aplicable para efectuar controles en obra, debido a la rapidez de visualización y cuantificación de la existencia de sales.

2. Resumen del Método

Una muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a ebullición, hasta la extracción total de sales. La presencia de éstas, se detecta mediante reactivos químicos, los cuales, al menor indicio de sales forman precipitados fácilmente visibles. Del agua total de lavado, se toma una alícuota, y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes.

Seque la muestra hasta masa constante (Registrar como "A"), agregue agua destilada y lave en reiteradas ocasiones.

Para saber si hay sales tiene que colocar una pequeña cantida de agua de lavado en dos tubos de Ensayes:

- Agregue un poco de muestra a un tubo de ensaye e incorporar solución de cloruro de bario:
Si hay Reacción ==> (se ve un pp blanco) ==> Indica presencia de sulfatos (SO_4^{-2}).
- Agregar un poco de muestra a un tubo de ensaye e incorporar solución de nitrato de plata
Si hay reacción ==> (se ve un pp blanco) ==> Indica presencia de cloruros (Cl^-).

Donde pp: Precipitado

Todas las aguas de lavado se guardan en un matraz aforado de 1 lt o 2 lt. Se termina con el lavado cuando no hay reacción con las soluciones descritas:

- Se mide el volumen de agua total de lavado (Registrar como "B") se agita el recipiente y se toman 100 ml o 200 ml del agua de lavado (Registrar como "C").
- Se seca la muestra en un horno a hasta masa constante (eliminar toda el agua). La masa de cristales obtenidos se registra como "D"
- Se calculan las Sales Totales como:

$$\% \text{ sales solubles} = \frac{1}{\frac{C \cdot A}{D \cdot B} - 1} \cdot 100$$

Nota:

En caso de necesitar mayor precisión en la determinación de sales o cuando se esté en el límite de la exigencia, emplee el Método 8.202.18 de Vol. 8 M.C.

ANEXO F

MÉTODO PARA DETERMINACIÓN COLORIMÉTRICA DE LA PRESENCIA DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN ARENAS PARA HORMIGÓN RESUMEN 8.302.66 VOL. 8 M.C. (LNV 66)

1. Objetivo y Alcance:

Este método establece el procedimiento para determinar la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones, por comparación de coloraciones.

2. Resumen de Preparación de Reactivos

Solución 1: Se prepara una solución de ácido tánico al 2%. Disolviendo 2 g de ácido tánico en 10 ml de alcohol (95%) con 90 ml de agua destilada.

Solución 2: Se prepara una solución de hidróxido de sodio al 3%. Disolviendo 30 g de hidróxido de sodio en 970 g de agua destilada.

Solución Patrón se confecciona con 2,5 ml de la **Solución 1** y 97,5 ml de la **Solución 2**. Se agita y se deja reposar 24 horas.

3. Resumen del Método:

Se coloca 200 g de la muestra en un vaso transparente con 100 ml de la **Solución 1**. Se agita y se deja reposar durante 24 h. Luego se compara el color de la muestra con la **Solución Patrón**.

Se informa si el color de la muestra es más o es menos intensa o de igual color que la **Solución Patrón**.

ANEXO G

CORRELACIONES DE CONVERSIÓN DE VISCOSIDAD CINEMATICA A SAYBOLT UNIVERSAL O A SAYBOLT FUROL RESUMEN 8.302.14 VOL. 8 M.C. (LNV 59)

1. Alcances y Campo de Aplicación.

Las siguientes ecuaciones correlacionan la viscosidad cinemática (cst) a viscosidad Saybolt Universal (SUs) o a viscosidad Saybolt Furol (SFs) a la misma temperatura. Los valores de la Viscosidad Cinemática están basados en agua a 1,0038 cst a una temperatura de 20°C.

2. Resumen del Método.

2.1. La correlación matemática de conversión de viscosidad cinemática (cst) a viscosidad Saybolt Universal (SUs) a cualquier temperatura, puede calcularse con la ecuación (E.5). En Tabla 8.302.14.A del Volumen 8 M.C. se entregan valores de correlación a 38°C y 99°C.

2.2. La correlación matemática de conversión de viscosidad Saybolt Furol a viscosidad cinemática a 50°C y 99°C, puede calcularse con la ecuaciones 6,5 y 6.7. En Tabla 8.302.14C del Volumen 8 M.C. se entrega valores de correlación a 38°C y 99°C .

3. Correlación de Conversión de Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal.

La correlación de Viscosidad Saybolt Universal a Viscosidad Cinemática no es lineal por debajo de los 75 cst.

La conversión de Viscosidad Cinemática (bajo 75 cst) a Viscosidad Saybolt Universal a cualquier temperatura en una rango de -18 a 177 °C se realiza usando la siguientes ecuaciones:

Para Viscosidades menores de 75 cst:

$$A = 1 + 0,00011 \cdot (T - 38) \quad (G.1)$$

$$SUs_T = SUs_{38} \cdot A \quad (G.2)$$

Para Viscosidades mayores de 75 cst:

$$SUs_T = cst_T \cdot B \quad (G.3) \quad \text{Dónde} \quad \begin{array}{l} B = 4,632 \text{ a } 38^\circ\text{C} \\ B = 4,664 \text{ a } 99^\circ\text{C} \end{array}$$

o la ecuación para todo el rango de temperatura:

$$SUs = 4.632 \cdot cst + \frac{1,0+0,03264 \cdot cst}{(3.930,2 + 262,7 \cdot cst + 23,97 \cdot cst^2 + 1,646 \cdot cst^3) \cdot 10^{-5}} \quad (G.4)$$

Donde:

T: Temperatura entre -18 a 177°C.

cst: Viscosidad Cinemática a la temperatura T.

A: Factor de conversión indicado en tabla 8.302.14.B para viscosidades menores de 75 cst.

SUs_t = Viscosidad Saybolt Universal a cualquier temperatura (T) en °C.

SUs₃₈ = Viscosidad Saybolt Universal a una temperatura de 38 °C.

B: Factor de conversión indicado en tabla 8.302.14.B para viscosidades mayores de 75 cst.

cst: Viscosidad Cinemática a la temperatura T.

4. Correlación de Conversión de Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Furol.

Conversión de Viscosidad Cinemática (cst) a Viscosidad Saybolt Furol a una temperatura de 50°C:

$$SFs_{50} = 0.4717 \cdot cst_{50} + \left[\frac{13.924}{cst_{50}^2 - 72,59 \cdot cst_{50} + 6.816} \right] \quad (G.5)$$

Donde:

SFs₅₀: Viscosidad Saybolt Universal a una temperatura de 50 °C.

Cst₅₀: Viscosidad Cinemática a la temperatura 50°C.

Conversión de Viscosidad Cinemática (cst) a Viscosidad Saybolt Furol a una temperatura de 99°C:

$$SFs_{99} = 0.4792 \cdot cst_{99} + \left[\frac{5610}{cst_{99}^2 + 2130} \right] \quad (G.6)$$

SFs₉₉: Viscosidad Saybolt Universal a una temperatura de 99 °C.

Cst₉₉: Viscosidad Cinemática a la temperatura de 99°C.

5. Ejemplo de Cálculo usando ecuaciones

5.1. Convierta de Viscosidad Cinemática (cst) a Saybolt Universal (SUs)

a. 1.82 cst a 38°C

Usando la ecuación G.4, se tiene

$$SUs_{38} = 4.632 \cdot 1.82_{38} + \frac{1,0 + 0,03264 \cdot 1.82_{38}}{(3.930,2 + 262,7 \cdot 1.82_{38} + 23,97 \cdot 1.82_{38}^2 + 1,646 \cdot 1.82_{38}^3) \cdot 10^{-5}}$$

$$SUs_{38} = 32.0 \text{ sSU}$$

b. 54.4 cst a 82°C

Usando la ecuación G.4, se tiene

$$SU_{538} = 252.8sSU$$

Usando la ecuación G.1, se tiene:

$$A = 1 + 0,00011 (T-38) = 1 + 0,00011 * (82 - 38) = 1,005$$

Usando la Ecuación G.2, se tiene

$$SU_{582} = SU_{538} \times A = 252.8 \times 1,005 = 254 sSU$$

6. Ejemplo de Cálculo usando las Tablas descritas en Método 8.302.14 del Volumen 8 del Manual de Carreteras

Ejemplo 1:

¿Cuál es la Viscosidad Saybolt Universal equivalente a la Viscosidad Cinemática de 74,5 cSt a 38°C?

Resp.1

Entre a la Tabla 8.302.14.A con la viscosidad cinemática de 74,5 cSt y note que a la temperatura de 38°C la equivalencia a Viscosidad Saybolt Universal es 346 SUs.

Ejemplo 2:

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 24,87 a 38°C?

Resp.2:

La equivalencia de 24.87 cst no aparece en la Tabla 8.302.14A por lo tanto hay que interpolar o usar la ecuación E.5.

- De Tabla 8.302.14.A con 24,85 cSt y note que la equivalencia de la viscosidad Saybolt Universal a 38°C es 118,7 SUs.
- Entre a la tabla con 24,90 cSt y encontrará que la equivalencia a Viscosidad Saybolt Universal a 38°C es 118,9 SUs.
- Un aumento de 0,05 cSt es igual a un correspondiente aumento de 0,2 SUs.; luego, por simple proporción, un aumento de 0,02 cst de viscosidad cinemática aumenta la equivalencia viscosidad Saybolt Universal por $(0,02 / 0,05) \times 0,2 = 0,08$ SUs. Por tanto la viscosidad Saybolt Universal equivalente a 24,87 cSt a 38°C es $118,7 + 0,08 = 118,78$ y redondeado, 118,8 SUs.

Ejemplo 3

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 745 cSt a 38°C?

Resp.3.

Multiplique 745 por el factor B a 38°C que en tabla 8.302.14B equivale a 4,632, obteniéndose 3.451 SUs o use la ecuación E.5.

Ejemplo 4:

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 54,4 cSt a 82°C?

Resp.4

De Tabla 8.302.14.A convierta la viscosidad cinemática a 82°C de 54,4 cSt a su equivalente en viscosidad Saybolt Universal a 38°C, encontrándose 253 SUs.

De Tabla 8.302.14.B obtenga el Factor A = 1,005, para convertir a la temperatura de 82°C. Multiplique 253 SUs por 1,005 obteniendo 254 SUs.

Ejemplo 5:

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 89,95 cSt a 4,4°C?

Resp.5

De Tabla 8.302.14.B, a una temperatura de 4,4°C, obtenga el Factor B = 4,615. Multiplique 89,95 por 4,615, obteniendo 415 SUs.

Ejemplo 6:

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol equivalente a una viscosidad cinemática de 231 cSt a 50°C?

Resp.6.

Entre a la Tabla 8.302.14C con 231 cSt y anote la viscosidad Saybolt Furol equivalente a 50°C es 109,3 SFs u utilice la ecuación E.6.

Ejemplo 7:

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol a 99°C equivalente a una viscosidad cinemática de 287 cSt a 99°C?

Resp.7

Entre a la Tabla 8.302.14C con 287 cSt y note que la viscosidad Saybolt Furol equivalente a 99°C es 137,6 SFs o utilice la ecuación E.7.

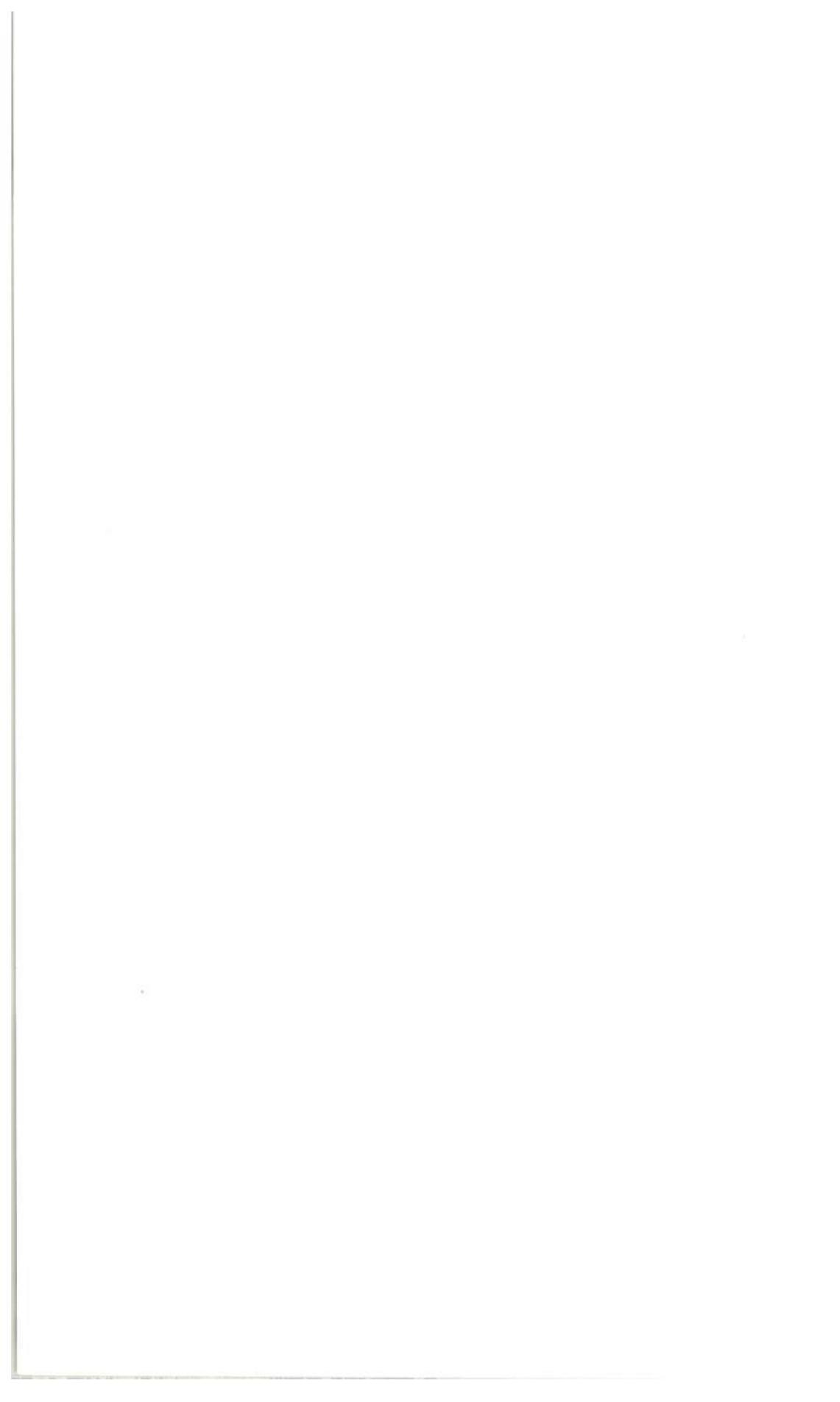
Bibliografía

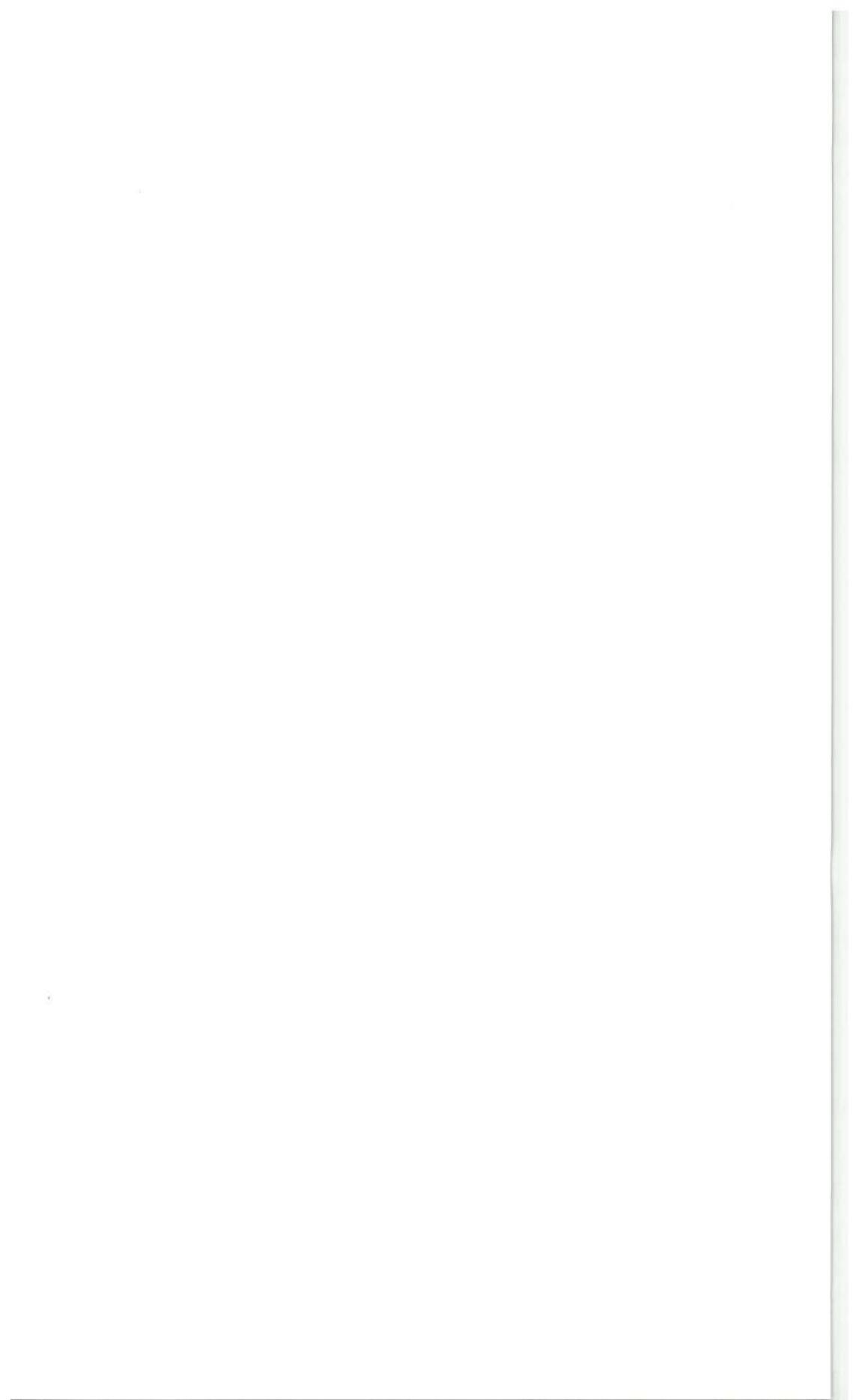
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Escuela Nacional Superior de Estudios Científicos, Tecnología e Ingeniería
del Estado de México

1. "Curso de Laboratorista Vial", Laboratorio Nacional de Vialidad, Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Volumen II, 5ª Edición, Enero 2000, Chile.
2. "Especificaciones y Métodos de Muestreo y Ensaye de la Dirección de Vialidad", Ministerio de Obras Públicas, 2ª Edición, 1999, Chile.
3. "Manual de Carreteras Volumen 8", Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Edición Diciembre - 2003, Santiago, Chile
4. "Manual de Carreteras Volumen 5", Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Edición Diciembre - 2003, Santiago, Chile.
5. "Manual de Carreteras Volumen 7", Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Edición Diciembre - 2000, Santiago, Chile.
6. "Manual de Carreteras Volumen 4", Plano de Obras Tipo Nº 4.201.102, Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Edición Diciembre - 2000, Santiago, Chile.
7. Catálogos de Pavimentación perteneciente a la empresa Asfaltos Chilenos S.A.
8. Catálogos de Pavimentación perteneciente a la empresa Química Latinoamericana S.A.
9. González Rojas, Jorge, "Cemento Asfáltico Modificado", Laboratorio Nacional de Vialidad de la Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Chile, 1992.
10. Thomas W. Kennedy, James S. Moulthrop, Gerald A. Huber, Pablo E. Bolzan, "Nuevos Procedimientos para el Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas de Tipo Superior Desarrollado por el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP) de los Estados Unidos de América", Universidad de Texas en Austin, U.S.A., 1995
11. Gabriela Muñoz R., Rosa Zúñiga C., "Presentación del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras SHRP, (Strategic Highway Research Program), Parte I" Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, Boletín Técnico S.D.D. Nº 4, 1998.
12. Revistas de la Asociación Chilena del Asfalto, (ICHAS), Boletín Técnico Nº4, Agosto 2001, Chile.
13. Juan José Pottí, "Emulsiones Bituminosas y Emulsiones Bituminosas Modificadas", VI Jornada Internacional del Asfalto, Universidad Federico Santa María, Valparaíso, Chile, Abril 2006.

Sitios en Internet

1. www.ichasfalto.cl
2. www.asfalchile.cl
3. www.quimicalatinoamericana.cl
4. www.crafco.com
5. www.e-asphalt.com
6. www.asphaltinstitute.org
7. www.monografias.com
8. www.ateb.es





**CURSO LABORATORISTA VIAL
VOLUMEN IV
LIGANTES ASFÁLTICOS Y SELLOS DE JUNTAS**

**REGISTRO DE PROPIEDAD INTELECTUAL
INSCRIPCIÓN N° 183580**

El Laboratorio Nacional de Vialidad está ubicado en
calle Rupanco 202 La Florida, Santiago-Chile.
Teléfonos: 4496154 - 4496170 • Fono-Fax: 4496168

Diseño y Diagramación
www.publisiga.cl

Impresión
Ograma



**LIGANTES ASFÁLTICOS
Y SELLOS DE JUNTAS**

VOLUMEN IV