



Instituto
Chileno del Asfalto

TECNOLOGIA DEL ASFALTO Y PRACTICAS DE CONSTRUCCION

Guía para Instructores

**BUENOS AIRES
REPUBLICA ARGENTINA**

1985



Martin
1985

625.85
T255

TECNOLOGIA DEL ASFALTO Y PRACTICAS DE CONSTRUCCION

Guía para Instructores

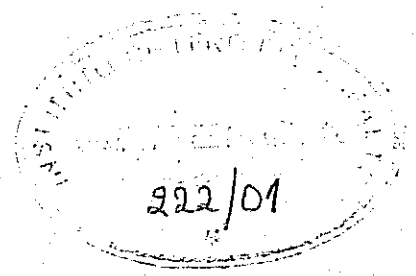


TRADUCIDO POR LA
COMISION PERMANENTE DEL ASFALTO DE LA
REPUBLICA ARGENTINA

CON LA AUTORIZACION DEL
INSTITUTO DEL ASFALTO DE LOS
ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA



Buenos Aires
República Argentina
1985



Título del original: ASPHALT TECHNOLOGY
AND CONSTRUCTION PRACTICES — Instructor's
Guide (2a. edición enero 1983)

Hecho el depósito que marca la ley número 11.723

Impreso en la Argentina - Printed in Argentine

Inscripción I.S.B.N.

Nº 950-630-001-1

②

Introducción

- *La Comisión Permanente del Asfalto continuando con el cumplimiento de uno de sus propósitos básicos "Interesarse por los problemas de carácter técnico y científico acerca de los materiales asfálticos, especialmente en lo que respecta a las obras de pavimentación", se complace en someter a la consideración de los tecnólogos argentinos y demás países de nuestra América Latina, la traducción al castellano de la "Guía para Instructores" "ASPHALT TECHNOLOGY AND CONSTRUCTION PRACTICES" Segunda Edición 1983, publicación educacional Serie ES-1, editada por el INSTITUTO DEL ASFALTO de los EE.UU. de NORTE AMERICA, del cual ha recibido la autorización correspondiente. Se agradece muy especialmente la confianza depositada en nuestra Institución.*

Si bien es cierto, como lo establece su carácter de "Guía" para instructores, no es un texto para analizar exhaustivamente los temas técnicos que deben conocer los especialistas en la materia, y quizás sea demasiado elevado para el personal no profesional que actúa en la realización de este tipo de obras asfálticas, la Comisión Permanente del Asfalto cree firmemente que su conocimiento será de indudable valor para actualizar a los tecnólogos del asfalto.

CONTENIDO

<i>Introducción</i>	<i>Página</i> III
<i>Indice</i>	V
<i>Nómina de ilustraciones</i>	XXI
<i>Nómina de tablas</i>	XXIX

INDICE

TEMA A. . . INTRODUCCION	A1
Lección 1 TECNOLOGIA DEL ASFALTO	A5
PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA EL TRANSITO VEHICULAR	A5
Conceptos Básicos	A5
Descripciones y definiciones	A6
Propiedades esenciales de las superficies asfálticas	A6
Función de la base y sub-base	A8
EL CONCEPTO DE DISEÑO ESTRUCTURAL	A8
Determinación del espesor de pavimento requerido	A8
Construcción por etapas	A9
Análisis del tránsito	A9
Evaluación de la subrasante	A9
Características requeridas en las capas del paquete estructural de un pavimento asfáltico	A10
MATERIALES DEL PAVIMENTO ASFALTICO	A10
Agregados	A10
Asfalto	A10
Proporcionamiento y mezclado de asfaltos y agregados	A12
Preparación del asfalto para las operaciones de construcción	A12
TIPOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS	A12
Mezcla en planta	A12
Mezcla en el camino (Road Mix)	A13
Aplicaciones de riegos asfálticos	A13
REHABILITACION	A14
RECICLADO DEL ASFALTO	A15
MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO	A16
LOS TECNICOS Y TECNOLOGOS DEL ASFALTO	A16
TEMA B. . . ASFALTO DE PETROLEO	B1
Lección 1 REFINACION Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFALTICO	B3
INTRODUCCION	B5
REFINACION DEL PETROLEO CRUDO	B5
PROPIEDADES O CARACTERISTICAS DESEABLES DEL CEMENTO ASFALTICO	B7
Consistencia	B7
Pureza	B7
Seguridad	B7
ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS PARA CEMENTOS ASFALTICOS	B7
Especificaciones para cementos asfálticos	B7
Ensayos de viscosidad	B9
Ensayo de penetración	B10
Ensayo de punto de inflamación	B11
Ensayo de película delgada en horno	B12
Ensayo de película delgada rodante en horno	B12

Ensayo de ductilidad	B13
Ensayo de solubilidad	B14
Lección 2 ASFALTOS EMULSIONADOS Y DILUIDOS	B15
INTRODUCCION	B17
Descripción	B17
Emulsiones asfálticas	B17
Asfaltos diluídos (Cutback Asphalts)	B18
Proceso para obtener las emulsiones asfálticas y los asfaltos diluídos	B19
Usos de los asfaltos emulsionados y diluídos	B19
ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS PARA LAS EMULSIONES ASFALTICAS	B19
Especificaciones	B19
Ensayo de viscosidad Saybolt Furol	B21
Ensayo de sedimentación	B22
Ensayo de estabilidad para almacenamiento	B23
Ensayo de clasificación	B23
Ensayo de desemulsión	B23
Ensayo de mezcla con cemento	B23
Capacidad de recubrimiento y resistencia al agua	B24
Ensayo de carga de las partículas	B24
Ensayo de tamiz	B25
Ensayo de destilación	B25
ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS PARA ASFALTOS DILUIDOS	B26
Especificaciones para asfaltos diluídos	B26
Ensayos de viscosidad cinemática	B26
Ensayo de punto de inflamación	B27
Ensayo de destilación	B27
Ensayo asfalto residual de penetración 100	B28
Ensayo de agua	B28
Lección 3 ASFALTOS SOPLADOS	B29
INTRODUCCION	B31
Descripción	B31
Usos	B31
PROPIEDADES Y ENSAYOS	B31
Propiedades y especificaciones	B31
Ensayo de punto de ablandamiento	B32
Ensayo de penetración	B32
Ensayo de pérdida por calentamiento	B32
Solubilidad en bisulfuro de carbono	B33
Contenido de cenizas	B34
Ensayo de partículas gruesas	B34
Lección 4 USOS DE LOS ASFALTOS Y VERIFICACION DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y RIEGO	B35
INTRODUCCION	B37
USOS COMUNES DEL ASFALTO	B37
VERIFICACION DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y RIEGO	B37
Generalidades	B37
Temperaturas de mezclado	B37
Temperatura de riego	B39
Precauciones para mayor seguridad	B41

Lección 5 EXTRACCION DE MUESTRAS Y RELACIONES TEMPERATURA-VOLUMEN MEDICIONES Y CALCULOS	B 43
EXTRACCIONES DE MUESTRAS	B45
Importancia	B45
Extracción de muestras de camiones tanques	B45
Contaminación	B45
Condiciones de los camiones tanques para cargar asfalto	B46
RELACIONES, TEMPERATURA-VOLUMEN, MEDICIONES Y CALCULOS	B46
Densidad (Peso específico)	B46
Relaciones y cálculo entre temperatura y volumen	B46
Cálculo de peso específico	B53
Mediciones en tanques horizontales	B53
TEMA C. . AGREGADOS MINERALES	C1
Lección 1 AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFALTICAS	C3
INTRODUCCION	C5
ORIGEN DE LAS ROCAS	C5
Rocas Sedimentarias	C5
Rocas Igneas	C6
Rocas Metamórficas	C6
FUENTES DE AGREGADOS	C6
Agregados procedentes de las minas o de canteras	C6
Agregados Procesados	C7
Agregados Sintéticos o Artificiales	C7
EVALUACION DE LOS AGREGADOS	C7
Tamaño y Granulometría	C8
Limpieza	C8
Resistencia al desgaste	C9
Textura Superficial	C10
Forma de la partícula	C10
Absorción	C10
Afinidad con el Asfalto	C11
Lección 2 CALCULOS EN LOS AGREGADOS	C13
ANALISIS GRANULOMETRICO	C15
Términos descriptivos	C15
Muestreo	C16
Tamizado por vía seca	C17
Tamizado por vía húmeda	C17
PESO ESPECIFICO	C17
Definiciones	C17
Determinaciones en el agregado grueso	C18
Determinaciones en el agregado fino	C19
Peso específico efectivo	C20
AREA SUPERFICIAL	C20
Función	C20
Cálculos	C21
Lección 3 COMBINACION DE AGREGADOS DE DISTINTAS GRANULOMETRIAS	C23
INTRODUCCION	C25
Justificación de la dosificación granulométrica	C25

Fórmula básica	C25
Soluciones gráficas.	C25
DETERMINACION DE LAS PROPORCIONES	C26
Combinación de dos agregados.	C26
Combinación de tres agregados.	C28
AJUSTES DE LA GRANULOMETRIA	C31
Ajuste por pesos específicos distintos	C31
Ajuste por eliminación	C32
TEMA D. . . DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO	D1
Lección 1 PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS	D3
INTRODUCCION	D5
Definición de mezclas calientes	D5
Clasificación de mezclas calientes	D5
CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS.	D5
Propiedades deseadas	D5
Objetivos	D7
Aplicaciones de los ensayos de diseño de mezclas.	D8
PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS	D9
Selección y combinación de agregados.	D9
Determinaciones de los pesos específicos	D9
Preparación de las probetas de prueba	D9
Peso específico de la probeta	D9
Ensayo de estabilidad	D10
Densidad-Vacíos; su análisis.	D10
Evaluación y ajustes en los diseños de mezclas.	D11
Lección 2 CALCULOS EN LA MEZCLA ASFALTICA	D13
INTRODUCCION	D15
CALCULOS PRELIMINARES.	D15
Peso específico bruto del agregado total.	D17
Asfalto absorbido por el agregado	D17
Peso específico bruto de la mezcla compactada	D19
ANALISIS DENSIDAD-VACIOS	D20
Pesos y volúmenes de una probeta de 100 cm ³	D20
Análisis densidad-vacíos	D21
SUMARIO DE ECUACIONES	D21
DETERMINACIONES DIVERSAS.	D24
Peso específico máximo de la mezcla.	D24
Contenido efectivo de asfalto.	D25
Ajuste de pesos, volúmenes y densidades	D26
Lección 3 1—METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS	D27
INTRODUCCION	D29
Método de diseño y requisitos	D29
Nómina de muestras y ensayos.	D30
Preparación de las mezclas de ensayo.	D30
METODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS	D30
Desarrollo y aplicación	D30
Esquema del método	D32
Preparación de las muestras de ensayo	D33
Procedimiento de ensayo	D35
Preparación de datos	D39

8

Interpretación de resultados	D39
Lección 4 2—METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS	D43
METODO HVEEM DE DISEÑO DE MEZCLAS	D45
Desarrollo y aplicación	D45
Esquema del método	D45
Ensayo del equivalente centrífugo de Kerosene (ECK)	D46
Preparación de las probetas de ensayo	D52
Procedimientos de ensayo	D55
Interpretación de resultados	D58
TEMA E. . .ELABORACION DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES	E1
Lección 1 PLANTAS ASFALTICAS	E3
INTRODUCCION	E5
Tipos de plantas asfálticas	E5
Ubicación	E8
ACOPIO Y ALIMENTACION EN FRIO DE AGREGADOS	E8
Acopio de agregados	E8
Aprovisionamiento de las unidades de alimentación en frío	E9
Tipo de alimentadores y controles	E9
SECADO Y CALENTAMIENTO DEL AGREGADO	E11
El secador	E11
Sistema indicador de temperatura	E12
El colector de polvo	E12
ACOPIO DE AGREGADOS EN CALIENTE	E14
Unidad de zarandeo	E14
Tolvas en caliente	E14
RELLENO MINERAL (FILLER)	E15
Polvo recogido	E15
Filler Comercial	E15
ACOPIO DE ASFALTO	E15
Tanques para asfalto	E15
Calentamiento y circulación del asfalto	E16
INSTALACIONES MEZCLADORAS INTERMITENTES	E16
Balanza tolva para agregados	E16
Cubeta y medidor de asfalto	E16
Mezclador	E17
Silo de almacenamiento en caliente	E17
Mezclado	E17
Instalaciones automáticas	E18
INSTALACIONES MEZCLADORAS CONTINUAS	E19
Compuertas de los depósitos en caliente	E19
Distribución del asfalto	E20
Mezclador	E21
Instalaciones automáticas	E21
MEZCLADO EN TAMBOR	E21
Instalaciones básicas	E21
Controles	E21
Funcionamiento	E22
ELABORACION UNIFORME DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE	E22
Continuidad de las operaciones	E22
Almacenamiento de la mezcla asfáltica caliente	E22

Lección 2 MANEJO E INSPECCION DE PLANTAS ASFALTICAS — 1	E25
INTRODUCCION	E27
Cooperación entre el ingeniero y el contratista	E27
Coordinación con las cuadrillas de pavimentación	E27
Balance de la producción de la planta	E27
MANEJO Y ACOPIO DE MATERIALES	E28
Acopio en pilas de los agregados	E28
Almacenamiento del relleno mineral	E28
Almacenamiento del asfalto	E28
ALIMENTACION DE AGREGADOS FRIOS	E28
Carga de las unidades de acopio para la alimentación en frío	E28
Calibración y ajuste de los alimentadores	E29
SECADO Y CALENTAMIENTO	E30
Operación de secado	E30
Polvo colectado	E32
ZARANDEO Y CLASIFICACION	E33
Tamaño y capacidad de la zaranda	E33
Eficiencia de la zaranda	E35
Arrastre	E36
Tolvas de material caliente	E36
Toma de muestras de las tolvas	E36
Control del filler mineral	E38
Funcionamiento de instalaciones sin zarandas	E38
TEMPERATURAS	E39
Determinación de la temperatura de mezclado	E39
Temperaturas del agregado	E39
Temperatura del asfalto	E39
 Lección 3 MANEJO E INSPECCION DE PLANTAS ASFALTICAS — 2	 E41
MEZCLADO EN PLANTA INTERMITENTE	E43
Dosificación de materiales	E43
Básculas para agregados	E43
Básculas para asfaltos	E43
Medidores de asfalto	E44
Carga del mezclador	E44
El mezclador	E45
Tiempo de mezclado	E46
MEZCLADO EN PLANTA CONTINUA	E46
Dosificación de agregados	E46
Medición del asfalto	E47
Regulación de la unidad alimentadora	E47
Mezclador de paletas	E48
Tiempo de mezclado	E48
Control del contenido de asfalto	E49
OPERACIONES DEL TAMBOR MEZCLADOR	E50
Sistema de control de las instalaciones	E50
Pesaje del agregado	E50
Medición y suministro del asfalto	E50
Corrección por humedad	E50
TAREAS DIVERSAS	E51
Inspección de camiones	E51
Observación de la mezcla	E51
Medición del tiempo de elaboración	E52

TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS	E53
Propósito de los ensayos	E53
Programación de la toma de muestras	E54
Diseño de la mezcla de obra	E54
REGISTRO E INFORMES	E55
Generalidades	E55
Diario	E55
Informe diario	E55
Informe mensual	E57
TEMA F: PAVIMENTACION CON MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE	F 1
Lección 1. . . EQUIPO PARA LA PAVIMENTACION ASFALTICA	F 3
INTRODUCCION	F 5
La operación de pavimentación	F 5
Planificación y preparación	F 5
Equipo para la pavimentación asfáltica	F 5
LA PAVIMENTADORA ASFALTICA	F 5
Operación de la pavimentadora	F 5
La unidad tractora	F 7
Fundamentos de la operación de extendido	F 7
La unidad de extendido	F 8
Inspección de la unidad de extendido	F 9
Controles automáticos de la enrasadora	F10
RODILLOS	F12
La operación de los rodillos	F12
Rodillos con ruedas de acero	F13
Rodillos con llantas neumáticas	F13
Rodillos vibratorios	F15
EQUIPAMIENTO AUXILIAR	F15
Distribuidor de asfalto	F15
Motoniveladora	F16
Equipo para formación de caballetes	F16
Herramientas accesorias	F16
Lección 2. . . PREPARACION DE LA SUPERFICIE DEL CAMINO	F19
INTRODUCCION	F21
La necesidad de preparar el camino	F21
Compactación de la subrasante	F21
Rodillado de prueba	F22
PREPARACION DE SUPERFICIES NO PAVIMENTADAS	F22
Generalidades	F22
Subrasante preparada	F22
Bases no tratadas	F23
Caminos granulares no afirmados	F23
PREPARACION DE SUPERFICIES DE PAVIMENTOS ANTIGUOS	F23
Pavimentos bituminosos antiguos	F23
Pavimentos rígidos	F24
Riegos de liga	F25

CAPAS DE NIVELACION	F25
Propósito de la capa de nivelación	F25
Distribución con motoniveladora	F26
Cuñas de nivelación	F27
Lección 3. . . COLOCACION DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE PARA PAVIMENTACION	F29
INTRODUCCION	F31
Relación Ingeniero-Contratista	F31
Planeamiento de las operaciones de distribución (colocación)	F31
Antes de comenzar la pavimentación	F32
RECEPCION DE MEZCLAS ASFALTICAS	F32
Tickets de carga	F32
Inspección de la mezcla	F32
Deficiencias de la mezcla	F33
COLOCACION CON LA PAVIMENTADORA ASFALTICA	F33
Línea de guía	F33
Hilo sustentado	F34
Ancho de distribución	F34
Distribución unitaria	F35
La operación de colocación	F36
Operación automática de la enrasadora	F37
Rastrillaje manual	F37
CONSTRUCCION DE JUNTAS	F37
Juntas longitudinales	F37
Juntas transversales	F39
Lección 4. . . COMPACTACION DE PAVIMENTOS CON MEZCLA ASFALTICA CALIENTE	F41
INTRODUCCION	F43
La necesidad de la compactación	F43
Principios fundamentales	F43
Secuencia del rodillado	F44
Rodillado de capas gruesas	F44
PROCEDIMIENTO DE RODILLADO	F45
General	F45
Juntas transversales	F45
Juntas longitudinales	F46
Rodillado inicial	F47
Rodillado intermedio	F49
Rodillado final	F50
INSPECCION DEL PAVIMENTO TERMINADO	F50
Textura superficial	F50
Tolerancia superficial	F50
Densidad del pavimento	F51
OBLIGACIONES ADICIONALES	F52
Muestreo	F52
Registros e informes	F52
Control del tránsito	F54
Limpieza	F54

(12)

Lección 5. . . PAVIMENTACION COMPLEMENTARIA DEL CAMINO Y ELEMENTOS ACCESORIOS	F55
INTRODUCCION	F57
Operación de distribución manual	F57
Pavimentadoras pequeñas	F57
Pavimentadoras y distribuidoras remolcadas	F58
Operaciones complementarias y elementos accesorios	F58
ENSANCHE DEL CAMINO	F60
General	F60
Construcción	F60
BANQUINAS	F60
General	F60
Construcción	F62
PERALTE	F62
General	F62
Método constructivo	F62
Construcción del peralte	F63
CORDONES ASFALTICOS, REBORDES	F63
General	F63
Requerimientos de la mezcla	F64
Construcción	F64
CUNETAS DE GUARDIA PAVIMENTADAS, VERTEDEROS	F65
General	F65
Requerimientos de la mezcla	F65
Construcción	F66
TALUDES PAVIMENTADOS CON ASFALTO, REVESTIMIENTOS	F66
General	F66
Requerimientos de la mezcla	F66
Construcción	F67
TEMA G: PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO	G 1
Lección 1. . . PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO	G 3
INTRODUCCION	G 5
Descripción	G 5
Conveniencia en la construcción de pavimentos	G 5
Métodos de preparación de mezclas	G 5
COMPOSICION DE LA MEZCLA	G 6
Agregados	G 6
Asfalto	G 6
Proporciones de los materiales	G 7
CONSTRUCCION	G 8
Preparación de la superficie de apoyo	G 8
Caballetes	G 9
Adición de producto asfáltico	G10
Mezclado con cuchilla de motoniveladora	G11
Mezclado en plantas ambulantes	G11

Mezclado rotativo	G12
Aereación	G12
Distribución y compactación	G13
Capas superficiales en frío	G13
MEZCLAS EN PLANTA	G13
Ventajas	G13
Métodos de preparación	G14

TEMA H: TRATAMIENTOS SUPERFICIALES Y RIEGOS DE SELLADO H 1

Lección 1. . . TRATAMIENTOS SUPERFICIALES SIMPLES Y MULTIPLES H 3

INTRODUCCION H 5

 Definición de tratamientos superficiales

 Tipos de tratamientos superficiales

 Funciones de los tratamientos superficiales

 Tratamientos superficiales simples y múltiples

MATERIALES H 6

 Asfalto

 Agregados

DISTRIBUIDOR DE ASFALTO H 9

 El sistema circulante

 La barra de distribución de asfalto

 Controles

 Determinación del asfalto aplicado

 Calibración

DISTRIBUIDORES DE AGREGADOS H13

 Tipos de distribuidores

 Calibración

OTROS EQUIPOS H16

 Equipos de limpieza

 Rodillos

Lección 2. . . TRATAMIENTOS SUPERFICIALES SIMPLES Y MULTIPLES — 2 H17

DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES H19

 Consideraciones de diseño

 Fórmulas de diseño para tratamientos superficiales simples

PREPARACION PARA LA CONSTRUCCION H23

 Estudio del proyecto

 Preparación de la superficie del camino

 Clima

 Equipos y materiales

OPERACIONES EN UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL H24

 Distribución del asfalto

 Juntas transversales

 Juntas longitudinales

 Distribución del agregado pétreo

 Rodillado

 Agregado en exceso

 Regulación del tránsito

14

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES MULTIPLES	H28
Descripción	H28
Fórmulas de diseño	H28
Procedimientos de construcción	H31
Lección 3. . . RIEGOS ASFALTICOS DE SELLADO Y OTROS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	H33
INTRODUCCION	H35
Descripciones	H35
Selección del asfalto	H35
TRATAMIENTOS DE APLICACION ASFALTICA UNICA	H36
Riego de imprimación	H36
Riego paliativo de polvo	H36
Road Oiling	H37
Riego de liga	H37
Riego pulverizado (Fog Seal)	H37
SELLADOS CON LECHADAS ASFALTICAS	H38
Descripción	H38
Equipos para la preparación de lechadas asfálticas	H38
Preparación del camino	H40
Materiales	H40
Diseño de la mezcla	H40
Preparación de la mezcla	H41
Colocación de la mezcla	H41
Librado al tránsito	H41
Regulación del tránsito	H41
TEMA I: SUELOS Y DRENAJES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS	I 1
Lección 1. . . SISTEMAS DE CLASIFICACION DE LA SUBRASANTE	I 3
INTRODUCCION	I 5
Objetivo de la clasificación de la subrasante	I 5
Sistemas de clasificación	I 5
SISTEMA AASHTO DE CLASIFICACION	I 6
Generalidades	I 6
Clasificación	I 7
Método para clasificar	I 9
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS	I10
Generalidades	I10
Grupos de suelo	I11
Clasificación en campaña	I12
Clasificación en laboratorio	I13
Lección 2. . . METODOS PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE	I17
INTRODUCCION	I19
Necesidad de evaluación de la resistencia	I19
Métodos de evaluación	I19

ENSAYO DE LA PLACA DE CARGA	I20
Generalidades	I20
Procedimiento de ensayo	I20
Cálculos y graficación de resultados	I21
METODO DEL VALOR SOPORTE CALIFORNIA (CBR)	I21
Generalidades	I21
Preparación de las probetas de ensayo	I23
Ensayo de penetración	I24
Cálculos y graficación de resultados	I25
METODO DEL VALOR DE RESISTENCIA (VALOR R)	I28
Generalidades	I28
Preparación de las muestras	I28
Compactación de las probetas de ensayo	I28
Determinación de la presión de exudación	I30
Determinación de la presión de expansión	I30
Determinación del valor R	I32
Valor R de diseño	I33
METODO DEL MODULO DE RESILIENCIA (Mr)	I34
Generalidades	I34
Equipo	I34
Carga	I35
Resultados y cálculos	I35
Lección 3. . . DRENAJE DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS ASFALTICOS	I37
INTRODUCCION	I39
Necesidad del drenaje	I39
Diseño	I39
DRENAJE SUPERFICIAL	I40
Diseño para calzadas	I40
Diseño para grandes áreas pavimentadas	I43
DRENAJE SUBTERRANEO	I43
Introducción	I43
Diseño	I44
El drenaje y la acción de las heladas	I49
CONSTRUCCION	I52
Canales de drenaje	I52
Instalación de conductos	I52
Construcción de zanjas	I53
TEMA J: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFALTICOS	J 1
Lección 1. . . ANALISIS DEL TRANSITO PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS	J 3
ANALISIS DEL TRANSITO	J 5
Introducción	J 5
Estimación y evaluación del tránsito	J 5
Cargas de tránsito	J 6
Crecimiento del tránsito	J 6
Determinación del EAL de diseño	J 7

Lección 2. . . DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA CALZADAS

INTRODUCCION	J13
Estructura del pavimento asfáltico	J13
Pavimentos asfálticos integrales	J13
 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL	J15
Generalidades	J15
Módulo de resiliencia de la subrasante	J15
Abacos de diseño	J18
Determinación de espesores	J18
 CONSTRUCCION POR ETAPAS	J27
Ventajas	J27
Método de diseño	J27

TEMA K: EL ASFALTO EN EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS K 1

Lección 1. . . MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS K 3

INTRODUCCION	K 5
Definición de mantenimiento	K 5
Importancia de una inspección frecuente	K 5
Procedimientos de mantenimiento	K 5
Mezclas asfálticas y materiales	K 6
 BACHEO	K 6
Bacheos profundos	K 6
 CAUSAS Y REPARACION DE FISURAS	K 9
Piel de cocodrilo	K 9
de borde	K10
de juntas	K11
de reflexión	K12
de contracción	K12
de deslizamiento	K13
 CAUSAS Y REPARACION DE DEFORMACIONES	K14
Ahuellamiento	K14
Corrugaciones y Desplazamientos	K15
Depresiones	K16
Levantamiento	K17
 CAUSAS Y REPARACIONES DE LA DESINTEGRACION	K17
Pozos	K17
Desprendimientos	K18
 CAUSAS Y REPARACION DE SUPERFICIES RESBALADIZAS	K18
Exceso de asfalto	K18
Agregados pulidos	K20
 PROBLEMAS DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	K21
Pérdida de agregado de cubrimientos	K21

Estriado Longitudinal	K22
Estriado Transversal	K22
Lección 2. . . EL ASFALTO EN EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS	K23
INTRODUCCION	K25
El asfalto para mantenimiento de pavimentos de hormigón	K25
Sellado de juntas y fisuras	K25
Sub-sellado	K26
Capas superpuestas	K26
Capa de alivio de fisuras en un recapado	K26
MANTENIMIENTO DE JUNTAS Y FISURAS	K27
Resellado de juntas	K28
Sellado de fisuras	K28
Fisuras transversales	K29
Fisuras longitudinales	K29
Fisuras diagonales	K30
Fisuras en esquina	K31
Fisuras moderadas	K31
CAUSAS Y REPARACIONES DE LA DEFORMACION	K32
Fallas	K32
Bombeo	K33
CAUSAS Y REPARACION DE LA DESINTEGRACION	K33
Estallido	K34
Peladura	K36
Descascaramiento	K36
ELIMINACION DE LOS RIESGOS POR CALZADAS RESBALADIZAS	K37
Causas	K37
Reparación	K38
TEMA L: RECICLADO DE MEZCLAS EN CALIENTE	L 1
Lección 1. . . RECICLADO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE	L 3
INTRODUCCION	L 5
Fundamentos	L 5
Generalidades	L 5
DISEÑO DE LA MEZCLA RECICLADA EN CALIENTE	L 6
Generalidades	L 6
Etapas preliminares	L 6
Evaluación de los materiales	L 6
Diseño de la mezcla	L 7
MATERIALES RECUPERADOS	L17
Procedimientos de recuperación	L17
Clasificación por tamaños	L17
PRODUCCION	L17
Elaboración en planta	L17
Reciclado en planta discontinua	L18

Reciclado en tambor mezclador	L18
Tambor en un tambor	L19
Reciclado con alimentación dividida	L21
Convección a baja temperatura	L22
COLOCACION	L23
Distribución y compactación	L23.
 TEMA M: CONSTRUCCIONES DIVERSAS CON ASFALTO	 M 1
Lección 1. . . PAVIMENTOS DE MACADAM ASFALTICO POR PENETRACION	 M 3
INTRODUCCION	M 5
Descripción	M 5
Conveniencia de los pavimentos de macadam por penetración	M 5
MACADAM POR PENETRACION USANDO CEMENTO ASFALTICO	M 5
Tamaños del agregado	M 5
Tipos y clases de asfalto	M 6
Preparación de la superficie de la calzada	M 6
Distribución y compactación del agregado grueso	M 6
Aplicación del asfalto y del agregado intermedio	M 6
Tratamientos efectivos	M 7
MACADAM POR PENETRACION USANDO ASFALTO EMULSIONADO	M 7
Tamaños del agregado	M 7
Tipos y clases de asfalto	M 7
Preparación de la superficie de la calzada	M 7
Construcción	M 7
MANTENIMIENTO DEL MACADAM ASFALTICO	M 8
 Lección 2. . . EMPLEOS ESPECIALES DEL ASFALTO Y ADITIVOS	 M 9
INTRODUCCION	M11
PAVIMENTACION DE TABLEROS DE PUENTES	M11
Generalidades	M11
Mezclas asfálticas	M11
Métodos constructivos	M11
ESTACIONAMIENTOS SOBRE AZOTEAS	M12
Generalidades	M12
Construcción con un plano de movimiento libre	M12
Construcción con vinculación entre el piso de la azotea y el pavimento	M12
PISOS INDUSTRIALES	M13
Generalidades	M13
Pisos de mástic asfáltico	M13
Pisos de concreto asfáltico	M13
PISOS Y SUPERFICIES PARA DEPORTE Y RECREACION	M14
Generalidades	M14
Construcción	M14
ESTRUCTURAS HIDRAULICAS	M14

19

Generalidades	M14
Revestimientos con membrana de riego asfáltico	M14
Revestimientos de concreto densamente graduado	M15
Revestimiento asfálticos de graduación abierta	M15
Revestimientos prefabricados de asfalto	M16
PROTECCIONES DE ASFALTO	M16
Generalidades	M16
Protección con riego asfáltico	M16
Protección de asfalto fijada	M16
USO DE ADITIVOS EN EL ASFALTO	M17
Caucho en asfalto	M17
Siliconas	M17
Cal hidratada	M18
Aditivos mejoradores de adherencia	M18

NOMINA DE ILUSTRACIONES

TEMA A

Lección 1

<i>Figura N°</i>		<i>Página</i>
1	Distribución de la carga de la rueda a través de la estructura del pavimento	A5
2	Corte transversal de secciones de pavimento asfáltico mostrando algunas estructuras típicas y comunes	A7
3	Tensiones de tracción y compresión resultantes de la deflexión de la estructura del pavimento	A8

TEMA B

Lección 1

1	Diagrama del proceso del petróleo de base asfáltica para obtener cemento asfáltico	B6
2	Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute	B9
3	Viscosímetro de vacío de Cannon-Manning	B9
4	Viscosímetro en el "baño"	B10
5	Viscosímetro de brazos cruzados Zeitfuchs	B11
6	Viscosímetro en el "baño"	B11
7	Ensayo de penetración	B11
8	Ensayo de punto de inflamación con el "vaso abierto Cleveland"	B12
9	Ensayo de película delgada en horno	B13
10	Ensayo de película delgada rodante en horno	B14
11	Ensayo de ductilidad	B14

Lección 2

1	Proceso para obtener asfaltos emulsionados y diluídos del asfalto de petróleo	B20
2	Ensayo de viscosidad Saybolt Furol	B22
3	Ensayo de carga de partículas	B24
4	Ensayo de destilación para emulsiones asfálticas	B25
5	Ensayo "vaso abierto de Tagg"	B27
6	Ensayo de destilación para asfaltos diluídos	B27

Lección 3

1	Ensayo de punto de ablandamiento	B33
---	--	-----

TEMA C

Lección 1

1	Curvas granulométricas de una combinación de agregados para capa superficial de concreto asfáltico	C8
2	Máquina de desgaste "Los Angeles"	C9

Lección 2

1	Relación entre los diferentes pesos específicos de una partícula de agregado	C19
2	Cálculo del área superficial	C21

Lección 3

1	Cálculo para combinación de dos agregados por aproximaciones sucesivas	C27
2	Determinación de las proporciones de dos agregados	C28
3	Aproximaciones sucesivas para combinar tres agregados	C29
4	Método para estimar la combinación de tres agregados	C30
5	Ajuste de los porcentajes en volumen a porcentajes en peso	C31
6	Ajustes de las granulometrías por eliminación	C33

TEMA D

Lección 1

1	Relaciones densidad-vacíos de una muestra compactada de mezcla asfáltica para pavimentación	D11
---	---	-----

Lección 2

1	Representación de pesos y volúmenes en una muestra de asfalto compactada	D16
---	--	-----

Lección 3

1	Pesaje de los agregados del pastón	D31
2	Calentamiento en la estufa de los agregados del pastón	D31
3	Adición de Asfalto procedente de un calentador termostáticamente controlado	D31
4	Mezcladora mecánica y mezclado del pastón de agregados y asfalto	D32
5	Pisón mecánico de compactación usado en la preparación de las probetas para el ensayo Marshall	D34
6	Pesaje al aire de la probeta de mezcla en caliente compactada	D36
7	Pesaje en agua de la probeta de mezcla en caliente compactada	D36
8	Ensayo de estabilidad y Fluencia Marshall	D37
9	Modelo sugerido de informe mostrando los datos del ensayo para un diseño típico mediante método Marshall	D38
10	Curvas con resultados de los ensayos para proyecto de una mezcla en caliente mediante el método Marshall	D40
11	Porcentaje mínimo de vacíos del agregado mineral (Vam)	D42

Lección 4

1	Aparato para el ensayo ECK del método Hveem	D46
2	Diagrama para la determinación de la constante K_f para material fino a partir del ECK. Método Hveem de diseño de mezclas	D48
3	Diagrama para determinar la constante K_c para material grueso debido a la absorción del agregado grueso Método Hveem de diseño de mezclas	D49
4	Diagrama para la combinación de K_f y K_c y determinación de la constante de superficie K_m del agregado combinado, Método Hveem de diseño de mezclas	D49
5	Diagrama para el cómputo de la proporción de aceite para mezclas bituminosas de granulometría cerrada, Método Hveem de diseño de mezclas	D50
6	Diagrama para la corrección del requerimiento de asfalto debido al incremento de viscosidad o a una disminución de la penetración método Hveem de diseño de mezclas	D51

7	Compactador-Amasador mecánico para la preparación de las probetas de ensayo	D53
8	Diagrama del pisón del compactador-amasador mecánico	D53
9	Colocación de la mezcla en el molde	D54
10	Varillado de la mezcla en el molde	D54
11	Aparato para el ensayo de hinchamiento	D56
12	Diagrama mostrando las características principales del estabilómetro Hveem	D57
13	Estabilómetro Hveem	D57

TEMA E

Lección 1

1	Diagrama típico de una planta asfáltica intermitente o continua	E6
2	Planta de mezclado central	E6
3	Planta de mezclado central, tipo desmontable	E7
4	Diagrama de fabricación por pastones	E7
5	Diagrama de la elaboración continua	E8
6	Planta tipo tambor mezclador	E9
7	Alimentador en frío de tres tolvas y cinta	E10
8	Alimentador de cinta continua	E10
9	Alimentador vibratorio electromagnético	E10
10	Alimentador de banda articulada	E11
11	Secador y colector de polvo en una instalación mezcladora central	E12
12	Colector ciclónico	E13
13	Filtro de bolsas de tejido	E13
14	Lavador centrífugo en húmedo	E13
15	Vista en corte que muestra los detalles de la circulación de material a través de las zarandas y de las tolvas	E14
16	Tubería de retorno del asfalto. La flecha grande indica la ranura vertical	E15
17	Diagrama en corte de una planta asfáltica de mezclado intermitente	E17
18	Mezclador de paletas para planta intermitente	E19
19	Operación de la barra distribuidora. La distribución del asfalto está interconectada mecánicamente con los alimentadores del agregado	E19
20	Mezclador de paletas para una planta continua	E20
21	Planta asfáltica de mezclado en tambor (tambor mezclador)	E21

Lección 2

1	Diagrama de calibración para alimentación en frío en las tolvas	E31
2	El agregado fino retiene más humedad que el agregado grueso, y necesita más calor para su secado	E32
3	Elección de la partición de tamaño para cuatro tolvas de almacenamiento	E33
4	Disposición 3-1/3 de un paquete de zarandas para cuatro tolvas de almacenamiento de material en caliente	E34
5	Desgaste de la zaranda	E35
6	Segregación del material en las tolvas en caliente	E37
7	Dispositivo de toma de muestras de agregado en la planta asfáltica	E38
8	Empleo correcto del tomamuestras	E38

Lección 3

1	Ejemplo de cálculo para determinar la lectura de la báscula de la tolva de pesaje de agregados	E44
2	Mezclador excesivamente lleno	E45
3	Mezclador poco lleno	E45
4	"Zona activa" del mezclador	E46

5	La altura de la compuerta controla el tiempo de mezclado	E49
6	Puente de pesaje	E50
7	Medición de la temperatura de la mezcla en el camión	E51
8	Informe diario del inspector de la planta asfáltica	E56
9	Informe mensual del inspector de la planta asfáltica	E57

TEMA F

Lección 1

1	Flujo de material a través de la pavimentadora	F6
2	Fuerzas actuando en la enrasadora durante la pavimentación	F8
3	Unidad de enrase con barra apisonadora	F9
4	Componentes de un dispositivo de control automático de enrasadora	F10
5	Palpador de nivel de pata o patín corto	F11
6	Palpador de nivel de patín largo	F12
7	Palpador de nivel. La cuerda se usa también como guía para el operador de la terminadora	F12
8	Rodillo con ruedas de acero de dos ejes tandem	F14
9	Rodillo neumático autopropulsado	F14
10	Rodillo vibratorio autopropulsado	F15
11	Distribuidor de asfalto	F16

Lección 2

1	Cuñas de nivelación en depresiones y ondulaciones	F26
2	Límites de distribución de multicapas de nivelación	F27

Lección 3

1	Un método manual de anclar y estirar el hilo	F34
2	Traslado de capas sucesivas para prevenir la abertura de una grieta a lo largo de la junta longitudinal	F35
3	Construcción y preparación de juntas longitudinales	F38
4	Construcción y preparación de juntas transversales	F39

Lección 4

1	Marcas dejadas por el rodillo en un pavimento fresco de mezcla asfáltica en caliente	F44
2	Compactación de una junta transversal	F46
3	Compactación de una junta longitudinal	F46
4	Procedimiento de compactación de juntas —Rodillo vibratorio—	F47
5	Modelo correcto de rodillado	F48
6	Fuerzas que actúan cuando la rueda directriz o la rueda motriz están hacia adelante	F49
7	Regla deslizando para controlar la tolerancia superficial	F51
8	Parte diario del inspector del camino	F52
9	Registro semanal del inspector del camino	F53
10	Registro diario del inspector del camino	F54

Lección 5

1	Un tipo de pavimentadora pequeña	F58
---	--	-----

2	Pavimentadora remolcada en un pequeño trabajo	F59
3	Flujo de material a través de la pavimentadora remolcada	F59
4	Base de concreto asfáltico colocada con un dispositivo especial en el ensanche de un camino	F61
5	Rodillo para zanjas	F61
6	Sección de banquina sugerida: Pavimento asfáltico Full-Depth	F61
7	Construcción de curvas peraltadas con mezcla asfáltica	F64
8	Dos tipos de máquinas que realizan cordones. Los moldes intercambiables proveen una amplia variedad de formas de cordones	F65

TEMA G

Lección 1

1	Mediciones a realizar para determinar la cantidad de agregado en el caballete	G10
---	---	-----

TEMA H

Lección 1

1	Distribuidor asfáltico	H9
2	Angulo correcto de inclinación de los picos	H10
3	Superposición de los abanicos de riego.	H11
4	Rueda y dial del velocímetro	H11
5	Calibración del tanque medida desde la tapa de la boca de registro hasta la superficie del material	H12
6	Distribuidor de agregados	H13
7	Distribuidor tipo tolva trasera	H14
8	Distribuidor mecánico	H14
9	Distribuidor de agregados autopropulsado	H15
10	Flujo del agregado a través de un distribuidor autopropulsado	H15
11	Barredora mecánica autopropulsada	H16

Lección 3

1	Equipo para la preparación de una lechada asfáltica	H39
2	Diagrama de flujo en una mezcladora de lechada asfáltica	H39

TEMA I

Lección 1

1	Diagrama de índice de grupo	I8
2	Valores de límite líquido e índice plástico para los subgrupos A-4, A-5, A-6 y A-7	I9
3	Gráfico de plasticidad.	I11

Lección 2

1	Equipo para el ensayo de placa de carga.	I21
2	Influencia de las reiteraciones de carga en la deflexión para tres magnitudes de carga.	I22
3	Carga total corregida para 10 repeticiones de carga.	I24
4	Conjunto para ensayo de CBR	I25
5	Corrección de las curvas carga-penetración	I26
6	Ejemplo de planilla para anotar la información del ensayo CBR	I27
7	Compactador mecánico	I29

8	Colocación del suelo en el molde desde la canaleta de alimentación del compactador	I30
9	Sistema indicador de la exudación de humedad	I31
10	Dispositivo para determinar la presión de expansión	I31
11	Estabilómetro Hveem	I32
12	Graficación de los resultados de ensayos de laboratorio y de los espesores de pavimentos necesarios para determinar el valor R de diseño	I33
13	Aparato para determinar el módulo de la elasticidad del suelo	I34
14	Planilla para ensayos del módulo de elasticidad en suelos de partículas finas compactadas	I36

Lección 3

1	Cuneta lateral típica	I41
2	Cunetas laterales que ayudan la eliminación del agua superficial y el drenaje de la capa base	I41
3	Las cunetas laterales pavimentadas no se erosionan	I42
4	Un reborde que conduzca a una tubería de descarga que lleve el agua bajo el alud, generalmente reduce el mantenimiento de taludes y cunetas	I42
5	Reborde lateral dirigido hacia una zanja pavimentada	I42
6	Ejemplo de una entrada bien ubicada en una playa de estacionamiento. Las cunetas son pavimentadas	I44
7	Determinación de la granulometría adecuada para material de filtro	I46
8	Efectos en la permeabilidad de cambios de granulometría pequeños	I47
9	Diseño de la zanja de drenaje	I47
10	Sistema de drenaje unicapa y bicapa	I48
11	Perfil mostrando los drenes transversales para eliminar el agua de la base de granulometría abierta	I49
12	Sección transversal mostrando un sistema de drenaje bicapa que utiliza mezcla asfáltica de granulometría abierta elaborada en planta	I49
13	La causa de los levantamientos por congelamiento son los lentejones de hielo que se forman bajo la superficie del pavimento	I50
14	Gráfico que identifica los suelos susceptibles a levantamientos por congelamiento	I51
15	Lechos típicos para conductos en zanjas	I53

TEMA J

Lección 1

1	Ejemplo de hoja de trabajo para análisis de tránsito	J9
---	--	----

Lección 2

1	Distribución de la carga de la rueda en la estructura del pavimento	J14
2	La deflexión debida a la carga de la rueda genera tensiones de tracción y de compresión en la estructura del pavimento	J14

TEMA K

Lección 1

1	Remoción de la superficie y de la base	K7
2	Aplicación de un riego de liga a las caras verticales	K7
3	Rellenado del bache con mezcla de planta	K8
4	Distribución de la mezcla	K8
5	Compactación de la mezcla	K8

6	Control de la superficie bacheada con una regla	K9
7	Fisuras piel de cocodrilo	K10
8	Fisura de borde	K10
9	Fisuras de juntas de bordes	K11
10	Fisuras de juntas entre carriles	K11
11	Fisuras de reflexión	K12
12	Fisuras de contracción	K13
13	Fisuras de deslizamiento	K13
14	Ahuelamiento	K14
15	Corrugaciones	K15
16	Desplazamiento	K15
17	Máquina fresadora en frío	K16
18	Depresión. El área deprimida se nota por el depósito de agua en el pavimento	K16
19	Levantamiento	K17
20	Pozo	K18
21	Desprendimiento	K19
22	Exudación de asfalto	K19
23	Agregado pulido en la superficie del pavimento	K20
24	Pérdida de agregado de cubrimiento	K21
25	Estriado longitudinal	K22

Lección 2

1	Sección transversal de un sistema de recapado incluyendo capa de alivio	K27
2	Fisuras transversales	K29
3	Fisuras longitudinales	K30
4	Fisuras diagonales	K31
5	Fisura de esquina y desprendimiento	K31
6	Fisuras moderadas	K32
7	Falla	K33
8	Bombeo	K34
9	Estallido (alabeo)	K35
10	Estallido (fragmentación)	K35
11	Peladura	K36
12	Descascaramiento	K37
13	Agregado pulido en superficie de pavimentos	K38

TEMA L

Lección 1

1	Diagrama de secuencias para el diseño de la mezcla	L8
2	Diagrama para la combinación de cemento asfáltico recuperado y cemento asfáltico nuevo: Ejemplo 1	L10
3	Diagrama para la combinación de cementos asfálticos recuperados y nuevos: Ejemplo 2	L13
4	Comparación de grados de penetración y grados de viscosidad de cementos asfálticos (basados en el residuo RTFOT, para los grados AR y los grados por penetración, y en el residuo TFOT, para los grados AC)	L14
5	Diagrama para mezclas asfalto recuperado (envejecido) y agente rejuvenecedor	L16
6	Reciclado en planta discontinua	L18
7	Reciclado en planta discontinua	L19
8	Tambor dentro de un tambor	L19
9	Detalles del tambor dentro de un tambor	L20
10	Reciclado con alimentación dividida	L21
11	Tambor mezclador con alimentación dividida	L21
12	Tambor mezclador con convección a baja temperatura	L22
13	Tambor mezclador con convección a baja temperatura	L23

NOMINA DE TABLAS

TEMA B

Lección 1

Tabla N°		Página
1	Ensayos requeridos por el cemento asfáltico usado en pavimentación	B 8

Lección 2

1	Ensayos requeridos para emulsiones asfálticas	B21
2	Ensayos requeridos para asfaltos diluidos y "road-oils"	B26

Lección 3

1	Ensayos requeridos para algunos cementos asfálticos soplados	B32
---	--	-----

Lección 4

1	Ensayos requeridos por el cemento asfáltico usado en pavimentación	B38
2	Temperaturas típicas para usos del asfalto (en grados C)	B39
3	Temperaturas típicas para usos del asfalto (en grados F)	B40

Lección 5

1	Guía de las condiciones de un camión tanque para carga de productos asfálticos	B47
2	Correcciones temperatura-volumen para materiales asfálticos en grados C	B48
3	Correcciones temperatura-volumen para materiales asfálticos en grados F	B49
4	Correcciones temperatura-volumen para materiales asfálticos en grados C	B50
5	Correcciones temperatura-volumen para materiales asfálticos en grados F	B51
6	Correcciones temperatura-volumen para emulsiones asfálticas	B52
7	Porcentaje de capacidad para distintas profundidades de un tanque cilíndrico en posición horizontal	B55

TEMA C

Lección 2

1	Dimensiones nominales tamices U. S. Standard	C15
2	Datos del análisis de tamizado traducidos a graduación del agregado	C16

TEMA D

Lección 2

1	Datos básicos para una muestra de mezcla asfáltica	D17
2	Explicación de los símbolos	D23

Lección 3

1	Conveniencia de los métodos de diseño de laboratorio	D29
2	Factores de corrección de la estabilidad	D41
3	Criterio de diseño Marshall	D42

Lección 4

1	Criterio de diseño Hveem	D58
---	------------------------------------	-----

TEMA E

Lección 2

1	Tabla de selección de zarandas	E34
2	Capacidad de la zaranda vibratoria	E35

Lección 3

1	Posibles causas de deficiencias en la mezcla asfáltica de una planta en caliente para pavimentación	E52
2	Programa sugerido para toma de muestras y realización de ensayos	E53
3	Tamaño de las muestras	E54

TEMA G

Lección 1

1	Guía para uso de productos asfálticos en mezclas frías	G7
2	Temperaturas típicas del asfalto para la construcción en frío	G11

TEMA H

Lección 1

1	Temperaturas sugeridas para regar los asfaltos	H7
2	Cantidades de asfalto y agregado para tratamientos superficiales y capas de sellado	H8

Lección 2

1	Factores de merma en el agregado	H22
2	Factores de tránsito para tratamientos superficiales	H22

Lección 3

1	Tipos de asfaltos para tratamientos superficiales	H35
2	Granulometrías para lechadas asfálticas	H40

TEMA I

Lección 1

1	Clasificación de suelos y mezclas suelo-agregado (con subgrupos)	I6
2	Límites de tamaño de las fracciones de suelo	I11
3	Símbolos para componentes, granulometría y límite líquido	I12
4	Clasificación de suelos unificada (incluye identificación y descripción)	I13

Lección 3

1	Clasificación de suelos para el diseño por congelamiento	I52
---	--	-----

TEMA J

Lección 1

1	Distribución porcentual de camiones en distintos tipos de carreteras (Estados Unidos)	J5
2	Porcentaje del tránsito total de camiones en el carril de diseño	J6
3	Factores de camión promedio (TF) para distintos tipos de carreteras y de vehículos (Estados Unidos)	J7
4	Factores de crecimiento	J8

Lección 2

1	Límites de diseño de la subrasante	J16
2	Espesores mínimos para concretos asfálticos	J25
3	Espesores mínimos de concreto asfáltico sobre bases con asfalto emulsionado	J25

100

100

100

100

100

100

100

100

100

TEMA A**INTRODUCCION**

La lección 1 nos introduce en el campo de la tecnología del asfalto. Presenta una amplia visión que brinda una completa perspectiva de los procedimientos de construcción y mantenimiento de caminos pavimentados asfálticos.

El máximo uso actual de los pavimentos asfálticos es el transporte mediante el tránsito vehicular. Sin embargo hay otros usos importantes de interés vital para ingenieros, tecnólogos y técnicos. Por ejemplo, el asfalto es usado para revestir depósitos y canales de agua, como así también estanques de desechos para el control de la contaminación.

La lección 1 puede ser la más importante del curso, y el instructor podrá durante su presentación tanto motivar al estudiante, como hacerle perder su interés. Aún cuando no sería práctico aumentar cada clase con audiovisuales auxiliares, algunos de ellos podrían captar la atención del estudiante y quizás generar su motivación. Las demostraciones de laboratorio hechas por el instructor y los trabajos realizados por los estudiantes son también convenientes. Esta lección puede además ser útil en la descripción de tecnologías del asfalto para audiencias de distintos intereses.

Audiovisuales auxiliares

1. El asfalto a través de las épocas, 16 mm, (color, sonido, 12 min.), The Asphalt Institute.

LECCION 1

TECNOLOGIA DEL ASFALTO

Objetivo: Describir en forma general el diseño, construcción y mantenimiento de los pavimentos de asfalto y explicar los roles y oportunidades brindadas a los técnicos y tecnólogos del asfalto.

PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA EL TRANSITO VEHICULAR.....	A	5
Conceptos Básicos.....	A	5
Descripciones y definiciones.....	A	6
Propiedades esenciales de las superficies asfálticas.....	A	6
Función de la base y sub-base.....	A	8
EL CONCEPTO DE DISEÑO ESTRUCTURAL.....	A	8
Determinación del espesor de pavimento requerido.....	A	8
Construcción por etapas.....	A	9
Análisis del tránsito.....	A	9
Evaluación de la subrasante.....	A	9
Características requeridas en las capas del paquete estructural de un pavimento asfáltico.....	A	10
MATERIALES DEL PAVIMENTO ASFALTICO.....	A	10
Agregados.....	A	10
Asfalto.....	A	10
Proporcionamiento y mezclado de asfaltos y agregados.....	A	12
Preparación del asfalto para las operaciones de construcción.....	A	12
TIPOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS.....	A	12
Mezcla en planta.....	A	12
Mezcla en el camino (Road Mix).....	A	13
Aplicaciones de riegos asfálticos.....	A	13
REHABILITACION.....	A	14
RECICLADO DEL ASFALTO.....	A	15
MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO.....	A	16
LOS TECNICOS Y TECNOLOGOS DEL ASFALTO.....	A	16

LECCION 1

TECNOLOGIA DEL ASFALTO

PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA TRANSITO VEHICULAR

Conceptos Básicos

La idea básica en la construcción de un camino o de una zona de estacionamiento para uso bajo cualquier condición climática, es la preparación de una subrasante o fundación conveniente, proveer el drenaje necesario y construir un pavimento que:

1. Tenga un espesor total y una resistencia interna suficiente para soportar las cargas del tránsito esperado.
2. Impida la penetración o acumulación interna de humedad, y
3. Disponga de una superficie de rodamiento lisa, resistente al deslizamiento y resistente al uso, distorsión y deterioro provocado por agentes climáticos y sustancias químicas para evitar el congelamiento.

La subrasante es la que soporta últimamente las cargas. De esta manera la función estructural de un pavimento es soportar las cargas de las ruedas en la superficie del pavimento y transferir y distribuir dichas cargas a la subrasante sin sobrepasar la resistencia de la misma ni la resistencia interna del pavimento (figura 1).

La figura 1 muestra la carga de una rueda, W , que es transmitida a la superficie del pavimento a través del neumático como una presión vertical aproximadamente uniforme, P_0 . El pavimento entonces distribuye la carga de la rueda a la subrasante de manera tal que la presión máxima sobre ésta es solamente P_1 . Mediante una selección adecuada de materiales y con un espesor de pavimento apropiado, P_1 será suficientemente pequeña para ser soportada fácilmente por la subrasante.

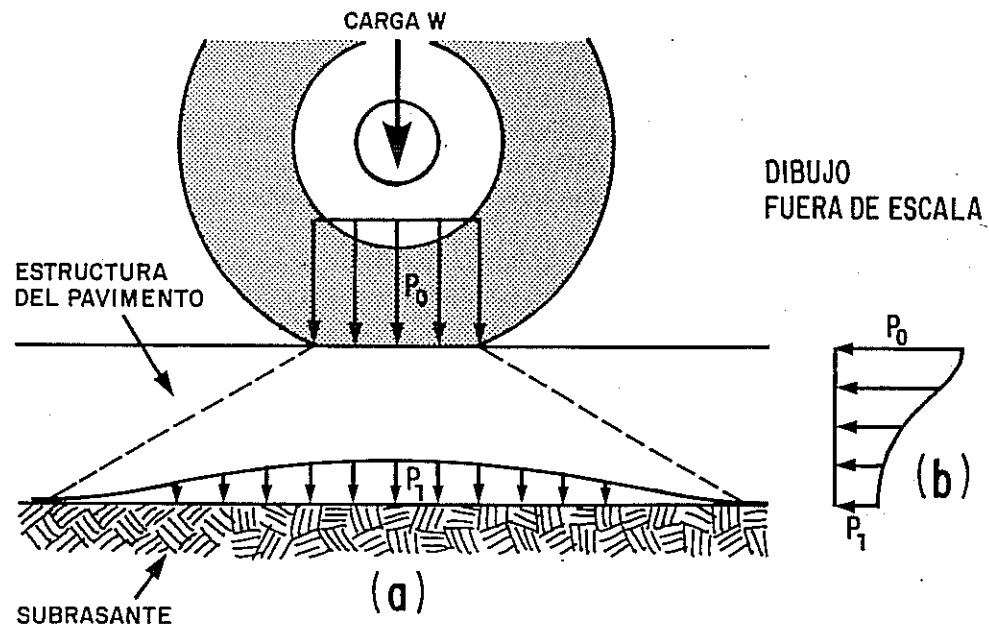


Figura 1.- Distribución de la carga de la rueda a través de la estructura del pavimento.

Descripciones y Definiciones

Pavimento asfáltico es un término general aplicado a cualquier pavimento que tenga una superficie asfáltica (figura 2). Normalmente consiste en una capa superficial de agregado mineral cubierto y ligado con asfalto, y una o más capas portantes, que pueden responder a los siguientes tipos:

1. Base de asfalto, consistente en una mezcla de agregado-asfalto
2. Piedra triturada, escoria o grava
3. Hormigón de cemento portland, y
4. Pavimentos viejos de ladrillos o adoquinados.

La estructura de un pavimento asfáltico está compuesta por todas las capas, sobre la subrasante preparada o fundación. La capa superior es la superficie asfáltica de rodamiento. Su espesor oscila entre menos de 25 mm (1 plg) hasta más de 75 mm (3 plg), dependiendo de una variedad de factores y circunstancias explicadas en detalle en el capítulo de diseño, construcción y mantenimiento.

Aunque en la estructura de un pavimento asfáltico puede ser usada una variedad de bases y sub-bases, en la mayoría de los casos éstas se componen de materiales granulares (tales como piedra triturada, escorias, gravas, arena, o una combinación de algunos de ellos) o suelo estabilizado. Una de las principales ventajas del pavimento asfáltico consiste en la economía lograda por el uso de materiales locales disponibles.

Generalmente es preferible tratar el material granular usado en las bases. Los tratamientos más comunes consisten en mezclar asfalto con un material granular, obteniendo de esa manera una base asfáltica. El tratamiento con asfalto es particularmente ventajoso, como se demostró en el AASHO Road Test en Illinois (1958-1960), que costó 27 millones de dólares, solventados por la American Association of State Highways Officials (actualmente llamada American Association of State Highways and Transportation Officials) y administrado por Highway Research Board (actualmente Transportation Research Board) de la National Academy de Sciences. Se comprobó que un espesor de base asfáltica de 25 mm (1 plg) era equivalente en términos de comportamiento bajo la acción de las cargas a un espesor de alrededor de los 50 mm (2 plg) o más de una base granular no tratada con asfalto. Pruebas hechas en Gran Bretaña demostraron también esta ventaja.

Bases y sub-bases no tratadas han sido usadas ampliamente en el pasado. Sin embargo como el tránsito actual crece en peso y volumen, estas bases mostraron limitaciones en su comportamiento. Como consecuencia de ello, es práctica común reservar el uso de estas bases no tratadas a pavimentos diseñados para tránsitos de bajo volumen o livianos.

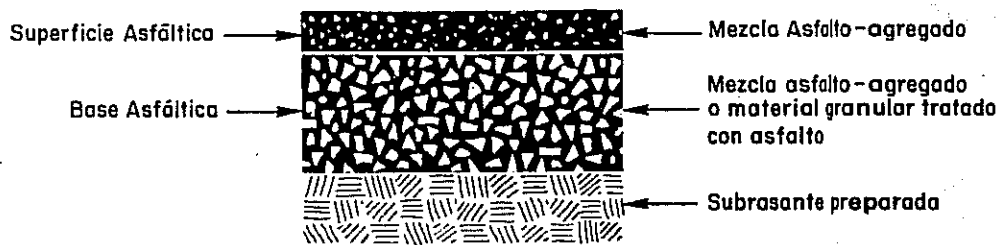
Cuando la estructura entera del pavimento asfáltico por encima de las subrasante está compuesta por mezclas asfálticas, se la denomina pavimento asfáltico INTEGRAL (Full-Depth®). Este es considerado generalmente el tipo más moderno y confiable del pavimento para el tránsito actual.

Otros materiales usados a veces para tratar o estabilizar bases o sub-bases granulares o suelos seleccionados, son el cemento portland, cal, alquitrán de hulla, cloruro de calcio, o sal (cloruro de sodio).

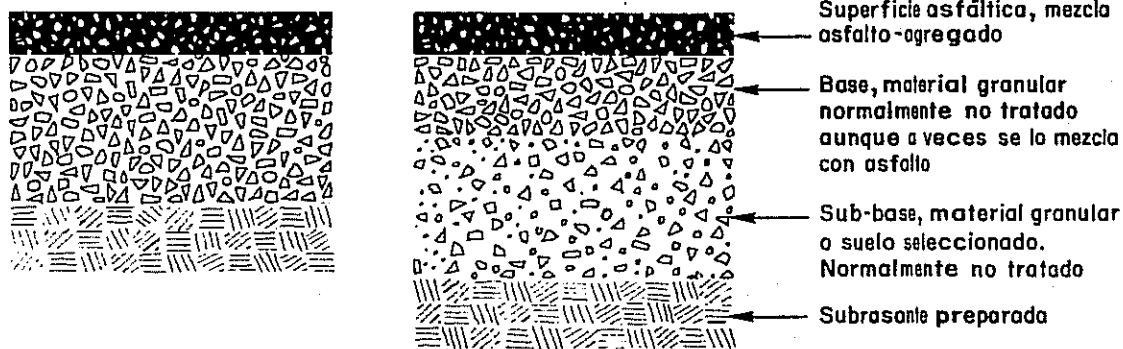
Propiedades esenciales de las superficies asfálticas

La superficie de un pavimento asfáltico expuesta al tránsito vehicular debe ser diseñada para resistir la distorsión y proveer una superficie de rodamiento lisa. Será impermeable y tendrá la pendiente necesaria para que escurra el agua hacia los costados del camino y de esa manera proteger la estructura entera del pavimento asfáltico y la subrasante de los efectos erosivos de la humedad. Resistirá el desgaste ocasionado por el tránsito y conservará las propiedades antideslizantes necesarias. Deberá además estar ligada a las capas o serie de capas que están por debajo de ella.

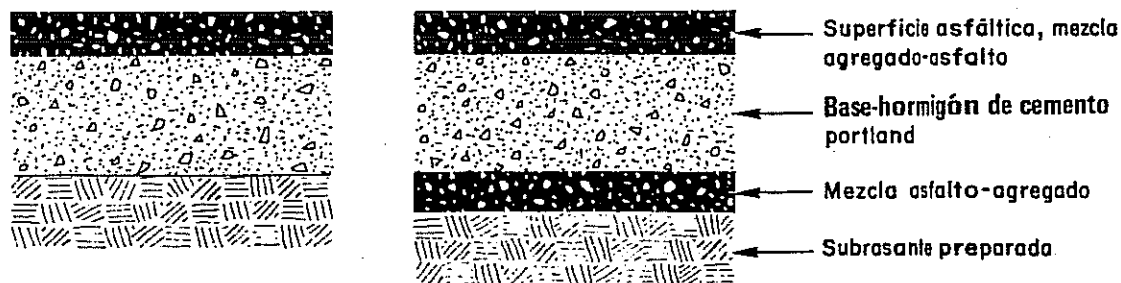
(R) El término FULL DEPTH (registrado por The Asphalt Institute con The U.S. Patent Office) certifica que el pavimento presenta mezclas asfálticas en todas las capas por encima de la subrasante o subrasante mejorada. Un pavimento asfáltico INTEGRAL (FULL DEPTH) es colocado directamente sobre la subrasante preparada.



PAVIMENTO ASFALTICO INTEGRAL (FULL DEPTH)



PAVIMENTO ASFALTICO CON BASE NO TRATADA (Y SUB-BASE)



PAVIMENTO ASFALTICO CON HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND U HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND COMBINADO Y BASE ASFALTICA

Figura 2.- Corte transversal de secciones de pavimento asfáltico mostrando algunas estructuras típicas y comunes

Función de la base y sub-base

La base y sub-base son elementos estructurales del pavimento. Juntamente con la superficie asfáltica, que está por encima, su propósito es el de distribuir las cargas del tránsito sobre la subrasante o fundación (fig. 2). Para satisfacer este propósito, bases y sub-bases deben ser construidas con propiedades de resistencia internas necesarias. A este respecto los pavimento asfálticos integrales (Full-Depth) tienen una ventaja especial sobre los pavimentos con bases granulares. La figura 3 muestra como la carga de la rueda, W , deflexiona levemente la estructura del pavimento, causando tensiones de tracción y compresión dentro del mismo. Las capas del pavimento asfáltico tienen resistencia a la tracción y compresión para soportar las tensiones internas. Las bases granulares no tratadas no tienen resistencia a la tracción. Por esta razón, las bases asfálticas distribuyen la carga de las ruedas sobre una superficie más amplia que las bases granulares no tratadas. Como consecuencia se requiere un espesor menor de la estructura total del pavimento para una base asfáltica. Esto concierne a todas las condiciones de carga.

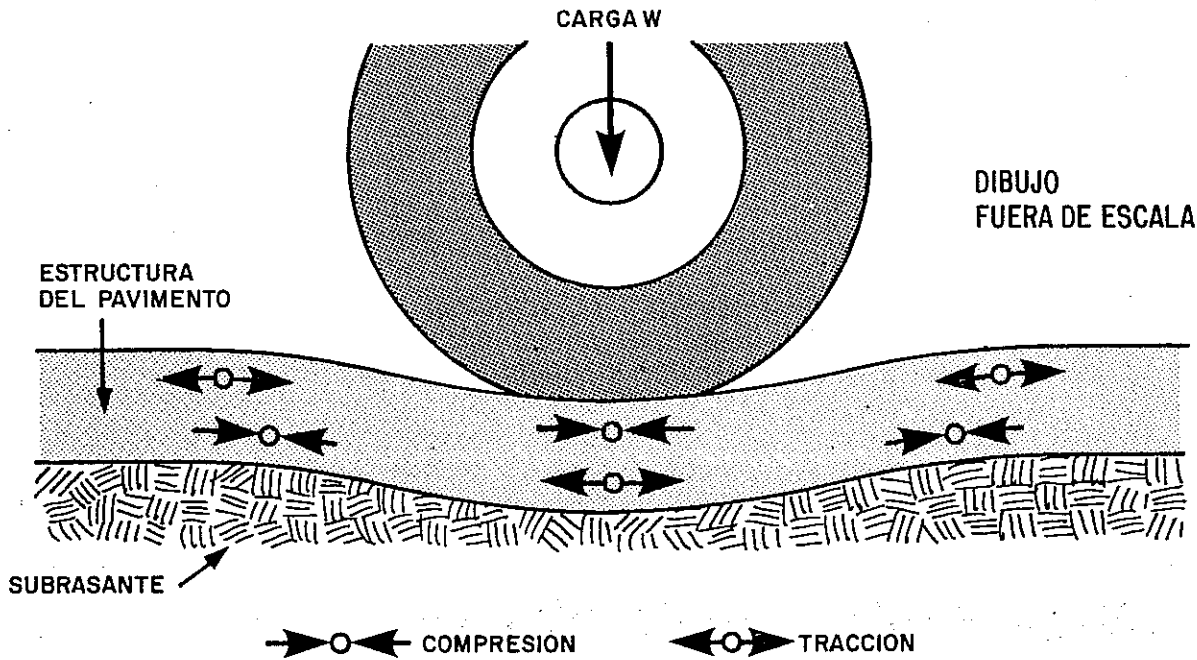


Figura 3.- Tensiones de tracción y compresión resultantes de la deflexión de la estructura del pavimento

EL CONCEPTO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Determinación del espesor del pavimento requerido

Un avance significativo de la ingeniería de caminos es la realización y demostración de que el diseño estructural de los pavimentos asfálticos es similar al diseño de cualquier otra estructura ingenieril compleja. Cuando el pavimento asfáltico fue introducido por primera vez, la determinación del espesor adecuado fue una cuestión de hacer conjeturas, reglas empíricas y opiniones basadas en la experiencia. Casi la misma situación prevaleció alguna vez en la determinación de las

dimensiones de arcos de mampostería y estructuras de hierro y acero. Sin embargo estas técnicas sirvieron, ya que brindaron un comienzo para futuros análisis de este tipo. En forma similar, basado en el estudio de vastos volúmenes de datos acumulados, el diseño estructural de pavimentos asfálticos se ha transformado actualmente en un procedimiento confiable para los ingenieros. Ahora se continúan las investigaciones, dirigidas hacia un mayor refinamiento y a la determinación de un procedimiento racional de diseño estructural.

No existe un espesor patrón para pavimentos. El espesor total requerido es determinado por métodos ingenieriles de diseño. Los factores considerados en estos métodos son:

1. Tránsito a ser soportado inicialmente y durante la vida de servicio para la que se diseña el pavimento.
2. Resistencia y otras propiedades concernientes a la subrasante preparada.
3. Resistencia y otras características influyentes de los materiales disponibles o elegidos para las capas que constituyen el paquete asfáltico estructural.
4. Cualquier factor especial del camino que está siendo diseñado.

Construcción por etapas

Debido a que el peso y el volumen del tránsito se incrementan cada año, los pavimentos originalmente construidos con suficiente espesor para admitir el volumen de tránsito inmediato, pueden no ser suficientemente gruesos y fuertes para soportar necesidades futuras. Con el pavimento asfáltico, este problema puede ser económicamente resuelto construyendo primero el espesor requerido, adicionando después, cuando sea necesario, capas asfálticas para incrementar el espesor total del pavimento. Este procedimiento se denomina *construcción por etapas*. Evita excesivas inversiones en el comienzo, y cuando se agrega una nueva capa asfáltica la superficie de rodamiento es igual o mejor que la original.

Cuando los fondos para la construcción de caminos son limitados, se puede colocar una base asfáltica resistente a todo clima y abrirla al tránsito por un año o más. Luego, al disponerse de fondos adicionales para la construcción, se podrá agregar una capa asfáltica de rodamiento. En forma similar, en la construcción de nuevas poblaciones, se puede colocar una base asfáltica en todas las calles nuevas para servir hasta que se termine la ejecución y cese el tránsito pesado de la construcción. Se adiciona entonces la capa asfáltica de rodamiento, habiendo reparado previamente cualquier daño o asentamiento sufrido por la base. Así las calles están con su mayor resistencia y en una condición atractiva y apropiada para una nueva zona de asentamiento humano.

Hay muchos ejemplos de planeamiento de construcción por etapas en la ejecución de carreteras interestadales. Los pavimentos asfálticos se construyen con suficiente espesor como para servir los primeros años, programándose nuevos fondos para adicionar un espesor de refuerzo cuando el tránsito aumente.

Análisis del tránsito

El peso y volumen del tránsito que se espera actuará inicialmente y a lo largo de la vida de servicio del diseño, influencia el espesor requerido para la estructura del pavimento asfáltico. Se han desarrollado varios métodos para determinar el volumen presente y futuro del tránsito. La información obtenida es usada con el propósito de diseñar el pavimento. Los factores necesarios han sido derivados de los datos obtenidos en pruebas de ensayo y recuentos cuidadosos de tránsito realizados en caminos en servicio. Sin embargo en situaciones especiales, tales como los caminos que transitan vehículos procedentes de explotaciones forestales, donde el peso y frecuencia de los camiones actuales son conocidos, el diseño del espesor del pavimento está basado en factores reales.

Evaluación de la subrasante

Existen varios métodos para la evaluación o estimación de la resistencia y capacidad de so-

porte de una subrasante, incluyendo:

1. Ensayos de carga en el mismo suelo de la subrasante, por ej. ensayos de placa, que usan grandes platos circulares cargados para producir cantidades críticas de deformación en la subrasante *in-situ*.
2. Ensayos de carga en laboratorio, usando muestras significativas del suelo de la subrasante. Algunos comunmente usados son: (a) Ensayo de valor soporte relativo California (CBR), el cual se realiza a veces sobre el suelo de la subrasante *in-situ*; (b) Ensayo con el estabilómetro de Hveem; (c) Ensayo del módulo de resiliencia (M_r); y (d) Ensayo triaxial.
3. Evaluaciones basadas en la clasificación de los suelos mediante la identificación y ensayo de las partículas constituyentes de cada suelo. Existen dos sistemas de clasificación bien conocidos: (a) el Sistema de Clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO, y (b), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos del U.S. Department of Defense.

Características requeridas en las capas del paquete estructural de un pavimento asfáltico

Para cumplir su función, cada capa de la estructura del pavimento debe inicialmente tener resistencia adecuada y otras propiedades esenciales, y retener estas propiedades a lo largo de su período de diseño.

MATERIALES DEL PAVIMENTO ASFALTICO

Agregados

En las mezclas agregado-asfalto comunmente usadas en pavimentos asfálticos, el agregado constituye normalmente del 90 al 95% en peso de la mezcla total y el asfalto del 5 al 10%. Obviamente, la naturaleza y calidad del agregado son importantes. En la capa superior de un pavimento asfáltico, donde las cargas de las ruedas son concentradas y las tensiones elevadas se requiere agregados de alta calidad para lograr una mezcla fuerte y de buen comportamiento (fig. 1).

En las bases asfálticas puede usarse a veces una calidad de agregado menor, porque los requisitos de resistencia requeridos no son tan altos como en la capa superior. Esto permite a veces usar agregados más baratos disponibles localmente, reduciendo así el costo total del pavimento.

Los agregados con partículas grandes, llamados agregados gruesos, mayores de aproximadamente 2,5 mm (0,1 plg.) normalmente son obtenidos de rocas trituradas o escorias, o de gravas trituradas y zarandeadas. Los agregados de partículas finas, llamados agregados finos, menores de aproximadamente 2,5 mm (0,1 plg.) son obtenidos de la arena natural o provenientes de las fracciones finas, obtenidas por zarandeo en las operaciones de trituración de rocas, denominadas ceraduras pétreas. A veces se adiciona al agregado fino un relleno mineral (filler) que puede ser polvo de roca.

Asfalto

// El asfalto es un constituyente del petróleo. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto, y a veces pueden ser casi enteramente asfalto. Existen algunos petróleos crudos, sin embargo, que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto, los petróleos se clasifican por lo común en:

1. Petróleos crudos de base asfáltica.
2. Petróleos crudos de base parafínica (contiene parafina pero no asfalto), y
3. Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El petróleo crudo, extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separa-

ción, los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos. De esta manera es como el asfalto, parafina, nafta, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad son el resultado de una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado.

Debido a que el asfalto es la base o el constituyente pesado del petróleo crudo, no se evapora o hierve cuando es destilado. En consecuencia, el asfalto es obtenido como residuo o producto residual, y es valioso para una gran variedad de usos arquitectónicos o ingenieriles.

Prácticamente todo el asfalto usado en los EE.UU. es producido en refinerías de petróleo modernas y se lo denomina asfalto de petróleo.

El asfalto es además un material bituminoso porque contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS_2). El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún. Consecuentemente, tanto el petróleo asfáltico como el alquitrán son referidos en forma conjunta, como materiales bituminosos. Sin embargo, el asfalto de petróleo no debe ser confundido con el alquitrán, ya que sus propiedades difieren en forma considerable. El asfalto de petróleo está compuesto casi enteramente por betún, mientras que en el alquitrán el contenido de betún es relativamente bajo. En vista de estas diferencias es necesario que los productos del alquitrán y los asfaltos de petróleo sean considerados y tratados como elementos completamente separados.

El asfalto de petróleo para uso en pavimentos es comunmente llamado *asfalto de pavimentación* o *cemento asfáltico* para distinguirlo del asfalto hecho para otros usos, como ser con propósitos industriales o para techados.

El asfalto para pavimentación a temperatura atmosférica normal (ambiente) es un material negro, pegajoso, semi-sólido y altamente viscoso. Está compuesto primordialmente de moléculas complejas de hidrocarburos, pero también contiene otros átomos, como ser oxígeno, nitrógeno y sulfuro. Debido a que el asfalto de pavimentación es pegajoso, se adhiere a las partículas del agregado y puede ser usado para cementarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico. El asfalto para pavimentación es impermeable y no lo afecta la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es llamado un material termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

Los pavimentos asfálticos son a veces, no con toda propiedad, llamados pavimentos flexibles, quizás como consecuencia de que el asfalto sea un material viscoso y termoplástico.

El asfalto de petróleo es el principal asfalto de pavimentación usado actualmente aunque aún se emplee en EE.UU. y otros países asfalto nativo o natural¹. El alcance del asfalto nativo o natural usado es, sin embargo, relativamente pequeño. En efecto, sólo unos pocos miles de toneladas de asfalto natural se emplean en los EE.UU. cada año, comparado con los 35 millones o más de toneladas de asfalto de petróleo. El asfalto natural es durable y ha sido usado a lo largo de toda la historia². El Asfalto de petróleo moderno tiene las mismas características de durabilidad, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de

¹ El asfalto natural o nativo, tal como el que se encuentra en Trinidad y muchos otros lugares del mundo es, habiéndose en forma general, el residuo de antiguos depósitos de petróleo que han perdido sus constituyentes volátiles a través de los procesos biológicos, lo cual puede aceptarse como una destilación natural.

² Los sumerios estaban familiarizados con el asfalto y sus propiedades cementantes e impermeabilizantes antes del año 3.800 antes de Cristo. Los egipcios (2800-1500 AC) usaron el asfalto para embalsamar a sus gobernadores muertos. Los babilonios (2500-538 AC) emplearon el asfalto para construir embalses, presas y caminos. El primer pavimento asfáltico en EE.UU. (1870) se ejecutó en Newark, New Jersey. En 1876, la Av. Pennsylvania en Washington, fue pavimentada con asfalto importado de Francia y Trinidad.

La naturaleza preservativa del asfalto es demostrada por el excelente estado de conservación de los restos de plantas y animales encontrados en el yacimiento de la Brea, en Hancock Park, Los Angeles, California.

materias orgánicas y minerales extraños. El asfalto natural no es uniforme y contiene cantidades variables de materias extrañas.

Proporcionamiento y Mezclado de Asfaltos y Agregados

La precisión en el proporcionamiento del asfalto y el agregado, como así también el control de la granulometría de este último son vitales en la construcción de un buen pavimento. Un pavimento con mucho asfalto hace que aquél carezca de estabilidad interna y se distorsione bajo el tránsito. Poco asfalto determina que el pavimento se ponga áspero y se desintegre, careciendo además de las cualidades necesarias de impermeabilidad y durabilidad. El propósito del diseño y proporcionamiento, es lograr la mejor relación entre asfalto y agregado. Esto proporciona una buena y controlada granulometría resultando una mezcla con adecuada estabilidad y durabilidad. Se debe recalcar que lo que se busca es una adecuada estabilidad, no la estabilidad máxima. Una estabilidad excesiva generalmente significa algún sacrificio en la durabilidad. Por esta razón, se requieren técnicos competentes para el diseño y control de mezclas asfálticas.

Preparación del asfalto para las operaciones de construcción

El asfalto para pavimentación (cemento asfáltico), que a temperatura atmosférica es semisólido y altamente viscoso, debe ser llevado temporariamente a fluido (licuificarlo) para poder manipularlo durante las operaciones de construcción, como el bombeo a través de cañerías, transporte en tanques, distribución a través de picos rociadores y el mezclado con el agregado pétreo. Cuando las operaciones de construcción del pavimento terminan, el cemento asfáltico se vuelve a su condición normal y funciona como el agente cementante (o ligante) e impermeabilizante que hace al pavimento estable y durable.

El cemento asfáltico puede ser llevado temporariamente a condición fluida (líquido) durante las operaciones de construcción, de tres maneras:

1. Derritiéndolo. Después de las operaciones de construcción, el cemento asfáltico líquido y caliente se enfría y retorna de su condición fluida a su condición normal semisólida.
2. Diluyéndolo en solventes de petróleo seleccionados. Este proceso se llama recomposición (*cutting back*). El asfalto obtenido se denomina *asfalto diluido* (*cutback asphalt*). Después de la construcción, el solvente se evapora dejando en el lugar el cemento asfáltico. El uso de asfalto diluidos en EE.UU. ha declinado debido a la escasez de petróleo y las regulaciones gubernamentales del medio ambiente. Está siendo reemplazado actualmente por emulsiones asfálticas, las cuales contienen poco y nada de solvente y pueden ser utilizadas para casi cualquier propósito en que sea necesario emplear asfalto diluido.
3. Emulsificándolo con agua. Como el asfalto y el agua ordinariamente no se mezclan puede hacerse que lleguen a esta condición mediante la agitación del asfalto con el agua en un molino coloidal y la adición de una pequeña cantidad de agente emulsificante o emulsivo.

El producto resultante, denominado emulsión asfáltica, es fluido y está listo para las operaciones de construcción. Durante la construcción, el agua y el asfalto se separan. Las partículas de asfalto se unen por coalescencia y cogulación en una película continua, que cementa las partículas del agregado cuando el agua se evapora. Cuando el agua y el asfalto se separan se dice que la emulsión *rompe* o se ha *curado*.

TIPOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

Mezcla en planta

Las mezclas asfálticas para pavimentos preparadas en una planta central son conocidas como mezclas en planta. El concreto asfáltico se considera como la mezcla en planta de máxima calidad. Consiste en un agregado pétreo bien graduado, de alta calidad, mezclado con cemento asfáltico.

tico. El asfalto y el árido son calentados separadamente entre 120 y 165°C (250 a 325°F), cuidadosamente medidos y proporcionados, y luego mezclados hasta que las partículas del agregado son recubiertas con asfalto. La mezcla se hace en la unidad mezcladora de la planta. La mezcla caliente, conservada así durante su transporte, es llevada al lugar de construcción, donde se la distribuye en la calzada mediante una máquina denominada terminadora asfáltica. La capa lisa es compactada por rodillos hasta lograr la densidad apropiada, antes que el asfalto se enfríe.

El concreto asfáltico es una de las varias mezclas asfálticas en caliente hechas en planta. También se preparan otras mezclas, tales como arena-asfalto, mortero asfáltico, y mezclas de agregado grueso que se preparan y distribuyen en forma similar. No obstante, todas ellas tienen un ingrediente común: el cemento asfáltico.

Las mezclas asfálticas que contienen asfaltos diluidos o emulsificados pueden ser preparadas también en plantas mezcladoras centrales. El agregado puede ser parcialmente secado y calentado, o mezclado como se lo extrae de la pila de almacenamiento. Estas mezclas son usualmente denominadas mezclas en frío, aún cuando el agregado utilizado en el proceso de mezclado hubiera sido calentado a temperaturas bastante inferiores a las necesarias en las mezclas en caliente.

Las mezclas hechas con emulsiones asfálticas y algunos asfaltos diluidos pueden ser distribuidas y compactadas en el camino mientras están bastante frías. Tales mezclas se llaman asfálticas para distribución en frío. Se las transporta y distribuye a temperatura templada normal. Para asegurar la evaporación del agua de la emulsión o de los solventes, estas mezclas después de haber sido colocadas en el camino son a veces removidas en caballetes, desplazados lateralmente en la calzada mediante motoniveladora, antes de su distribución final y compactación.

Mezclas en el camino (Road Mix)

Las emulsiones asfálticas y muchos asfaltos diluidos (aunque el uso de estos esté declinando) son suficientemente fluidos para ser distribuidos y mezclados con el agregado a temperatura ambiente entre normal y templada. Cuando esto se realiza en el área a ser pavimentada, se denomina construcción tipo mezcla en-sitio. Aunque sea éste el término más general y se aplique tanto para la construcción de un camino, área de estacionamiento o pista de aterrizaje de aviones, el término *mezcla en el camino* es empleado generalmente cuando se trata de la construcción de este tipo de obra.

La mezcla en sitio puede ser usada para capas de rodamiento, bases o sub-bases. Cuando se emplea como capas superiores o de rodamiento, por lo común es satisfactoria para tránsitos livianos y de volumen medio más que pesado. Sin embargo, las mezclas en sitio cubiertas por capas superiores de alta calidad mezcladas en planta, constituyen un pavimento conveniente para un servicio de tránsito pesado. Las ventajas del mezclado en sitio incluyen:

1. Utilización de agregados existentes en el lecho del camino o disponibles en yacimientos vecinos, que pueden emplearse sin un procesamiento considerable.
2. Eliminación del empleo de una planta mezcladora central. La construcción puede ser ejecutada con una variedad de maquinaria frecuentemente disponible en forma rápida, tal como motoniveladoras, mezcladoras giratorias y plantas mezcladoras ambuloperantes.

Aplicaciones de riegos asfálticos

Muchos propósitos útiles y necesarios son satisfechos cuando el asfalto, temporariamente fluido, puede ser distribuido en cantidades uniformes y controladas sobre una superficie, por ejemplo:

Tratamientos superficiales y riegos de sellado. Una aplicación de asfalto sobre una superficie de rodamiento recubierta o no con una capa fina de agregados pétreos, es llamada *Tratamiento Asfáltico Superficial*. Por definición, dichos tratamientos superficiales son de un espesor menor de 25 mm (1 plg.). Algunas veces estos tratamientos son incluidos en la construcción original. Más frecuentemente se aplican a pavimentos viejos después de un periodo de servicios y antes de que el deterioro de la superficie provocado por el tiempo y el tránsito sea demasiado grande.

El asfalto regado sirve para mejorar o restaurar la condición de impermeabilidad de la super-

ficie de pavimentos viejos. Además sirve para detener la evolución de la superficie de rodamiento hacia una condición de aspereza o desintegración.

La adición de un agregado de cubrimiento sobre el asfalto distribuido restaura y mejora la resistencia al deslizamiento de la superficie de rodamiento.

Los *tratamientos superficiales múltiples* consisten en dos o más aplicaciones de asfalto recubiertas con agregados pétreos.

Los tratamientos superficiales que tienen como propósito más importante el mejoramiento de la impermeabilidad o textura, se llaman *riegos de sellado*.

Los tratamientos superficiales simples o múltiples con agregados de cubrimiento, pueden ser colocados además sobre calzadas granulares para mejorar su transitabilidad. El tratamiento elimina el polvo, protege al camino al permitir el escurrimiento del agua de lluvia hacia las banquetas y provee por último una superficie de rodamiento más lisa. Constituye una mejora útil, de bajo costo, para cualquier calzada granular resistente a toda condición climática, pero tiene una capacidad de tránsito limitada y deberá ser usado sólo cuando el mismo es liviano o el periodo de servicio adoptado es corto.

Riegos de liga y Riegos de imprimación. Al comienzo de esta lección se hizo referencia a que cada capa de un pavimento asfáltico debería estar ligada a la inmediata inferior. Esto se realiza mediante la aplicación de una pequeña cantidad de asfalto sobre la capa subyacente, lo que permite la unión buscada.

Esta pequeña distribución de asfalto se llama *riego de liga*. Los riegos de liga se usan para fijar las capas asfálticas a una base de hormigón de cemento portland, o a pavimentos viejos de asfalto, ladrillos o adoquinados.

Cuando una carpeta asfáltica o un tratamiento bituminoso superficial deben ejecutarse sobre una base granular, es conveniente dar primero un riego asfáltico que se embeba o penetre dentro de la base. Esto se llama *imprimación* y el tratamiento se denomina *riego de imprimación*. Su propósito es facilitar la unión del material granular con la capa asfáltica. Un riego de imprimación difiere de un riego de liga en el tipo y cantidad de asfalto usado. No obstante ambos son aplicados mediante riego.

Existen otros dos tipos de tratamientos superficiales ampliamente usados que no emplean procedimientos de aplicación mediante riegos. Uno utiliza una mezcla en planta y otro una lechada de emulsión asfáltica y agregado fino (*slurry seal*).

Macadam asfáltico a penetración. Este es un viejo tipo de construcción de pavimento asfáltico. A pesar de los muchos miles de pavimentos construidos con macadam asfáltico a penetración que aún están en servicio, relativamente pocos son usados en construcciones nuevas. Brevemente, un pavimento de este tipo consiste en una o más capas de piedra triturada gruesa, acuñada con partículas pétreas más finas, que se compactan con aplanadoras. Luego se riega asfalto fluido sobre cada capa, que al penetrar en ellas liga las partículas pétreas entre sí.

Generalmente se coloca un tratamiento superficial bituminoso o una mezcla asfáltica en la cara superior del macadam asfáltico a penetración para que sirva como superficie de rodamiento.

REHABILITACION

Rehabilitación significa rescatar, fortalecer y modernizar calles y caminos deficientes. Muchos pavimentos viejos soportan vehículos cuyo número y peso están por encima de aquellos para los que fueron diseñados. Curvas pronunciadas, taludes empinados, distancias de visibilidad cortas, curvas verticales de radios pequeños y caminos angostos son algunas de las deficiencias geométricas que limitan la capacidad y seguridad del tránsito.

Por otra parte, muchos pavimentos por varias razones necesitan reforzarse; otros restaurarse. Por ejemplo un camino viejo puede ser demasiado angosto y tener una resistencia inadecuada, como así también ser insuficientes al drenaje, alineamiento, curvaturas, sección transversal, ancho de banquetas y otros rasgos geométricos. La rehabilitación involucra la mejora de todos estos aspectos, incluyendo el reciclado de la mayor parte del pavimento viejo. El ensanchamiento del ca-

mino, conjuntamente con capas asfálticas de refuerzo y la reconstrucción de algunos pavimentos resulta práctico y económico.

ATRIBUTO S

RECICLADO DEL ASFALTO

El reciclado del asfalto consiste en volver a usar, generalmente después de algún procesamiento, un material que ya ha cumplido su propósito original.

El cemento asfáltico puede volver a fundirse y utilizarse nuevamente varias veces, sin tener en cuenta el método original de construcción.

A pesar de que los materiales asfálticos pierden algunas propiedades técnicas a través de los años, debidas a la oxidación, volatilización y alteración producidas por los agentes climáticos, estas pérdidas tienden a ser mínimas en pavimentos que tienen menos de un 5% de vacíos. En dichos casos, el cemento asfáltico que está a más de 6 mm (1/4 plg) por debajo de la superficie conserva virtualmente la misma composición que la del día en que fue colocado. Los materiales asfálticos a veces se gastan, pero si ello ocurre se dispone de técnicas para restaurarlos.

En el reciclado las interrupciones del tránsito pueden ser minimizadas, ya que solamente las trochas con pavimentos afectados necesitan ser cerradas.

Las modernas técnicas de reciclado permiten la corrección de problemas en la subrasante y capas de base, como así también en las capas superiores.

Las calzadas pueden ser mejoradas para permitir cargas de tránsito mayores manteniéndose las cotas para cordones y drenajes, como así también las alturas libres de paso.

La decisión de reciclar o no, y si se hace, mediante qué método, depende de factores tales como la causa de las fallas del pavimento; la historia de los requerimientos de conservación del mismo, costos y comportamiento, control geométrico del trazado horizontal y vertical, factores correspondientes al medio ambiente y al tránsito.

Existen tres métodos básicos de reciclado; mezcla en caliente, mezcla en frío y reciclado superficial.

Reciclado con mezcla en caliente

Es un proceso en el cual los materiales del pavimento asfáltico recuperado, los agregados pétreos recuperados o ambos se combinan con asfalto nuevo, y/o agentes de reciclado y/o nuevo agregado, como sea necesario, en una planta central, para producir mezclas en caliente para pavimentación. El producto final cumple todas las especificaciones de materiales y requerimientos de construcción correspondientes al tipo de mezcla que está siendo producida.

Reciclado con mezclas en frío

Es un proceso en el cual el material del pavimento asfáltico recuperado, los agregados pétreos recuperados, o ambos, son combinados con asfalto nuevo y/o agentes de reciclado en el sitio, o en una planta central, para producir mezclas de base en frío. Se requiere una capa asfáltica de rodamiento.

Reciclado superficial

Es un proceso en el cual el pavimento asfáltico superficial es calentado in situ, escarificado, remezclado, vuelto a colocar y compactado con rodillo. Pueden añadirse asfaltos, agentes de reciclado, mezcla asfáltica en caliente nueva, agregados o combinación de algunos de ellos para obtener características convenientes de la mezcla. Cuando se adiciona una nueva mezcla asfáltica en caliente, el producto final puede ser usado como superficie de rodamiento. Si no, se deberá colocar una capa asfáltica superior de rodamiento.

MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO

Desde el día en que el pavimento asfáltico nuevo es abierto al tránsito, comienza a experimentar un deterioro gradual debido a las cargas de los vehículos y a los efectos del clima. Sin mantenimiento, un pavimento declinará en su utilidad y la inversión original puede pronto ser inutilizada. Por estas razones, un mantenimiento continuo y oportuno es necesario para preservar la inversión y mantener al camino en completo servicio público. La construcción de un pavimento se realiza en unos pocos meses. El mantenimiento es llevado a cabo por años. El asfalto tiene una multitud de usos en el mantenimiento de toda clase de pavimentos.

Las prácticas efectivas de mantenimiento requieren conocimiento, habilidad y organización. Frecuentemente éstas son bastante diferentes de las prácticas originales de construcción. Los Departamentos de Carreteras, por lo tanto, tienen usualmente divisiones de mantenimiento separadas de las de construcción, proyectos y otras.

Por esta causa, en este manual hay lecciones separadas sobre mantenimiento de pavimentos.

LOS TECNICOS Y TECNOLOGOS DEL ASFALTO

Para aquellos que entienden de asfalto y sus muchos usos en la construcción de pavimentos y su mantenimiento, hay muchas oportunidades de un empleo útil y remunerado. Los pagos incluyen no sólo un buen salario sino también la satisfacción personal de hacer un trabajo importante y prometedor. La experiencia conduce a oportunidades de avanzar a posiciones de responsabilidad total en la supervisión, manejo y dirección de operaciones en relación de dependencia o de carácter personal.

Los técnicos y tecnólogos del asfalto son necesitados por las compañías de lubricantes para sus operaciones en refinerías y para el control e investigación de sus laboratorios. Los Departamentos de Carreteras, federales, provinciales, territoriales o urbanos, necesitan técnicos para las operaciones en planta, en el terreno y en laboratorio. Existen oportunidades especiales en la enseñanza e investigación y en operaciones comerciales.

Debido a que los caminos son fundamentales para el bienestar de nuestra sociedad y de nuestro país, y a que el asfalto es el material de pavimentación más ampliamente usado para construcción y mantenimiento de caminos y otras facilidades de transporte, es vital que exista una adecuada reserva de técnicos y tecnólogos competentes en asfalto. Todas las instituciones de nivel terciario tienen una obligación y una oportunidad de proveer instrucción especial a estudiantes y agencias industriales y gubernamentales responsables de caminos. De esta manera estas instituciones servirán adecuadamente y en forma útil a los ciudadanos que las solventan.

TEMA B**ASFALTO DE PETROLEO****NOTA PARA EL INSTRUCTOR**

Las lecciones de esta sección se dedican al asfalto como material, estudiándose propiedades, características, especificaciones y ensayos. Complementariamente se deben realizar, mostrar o explicar trabajos de laboratorio. Por esta razón, este manual no da todos los detalles de los ensayos. En cambio, estudia las propiedades del asfalto y forma de medirlas; describe los ensayos y sus límites y da especificaciones.

Algunas lecciones brindan la oportunidad de hacer participar al estudiante en la resolución de problemas. Entonces es necesario darle la reproducción de las tablas del tema B o un ejemplar del "The Asphalt Pocketbook of Useful Information" (que se puede obtener en las oficinas técnicas del "Asphalt Institute"), cuyas tablas son más detalladas que las de esta sección.

Puede resultarle necesario al profesor resumir el material de este tema para ajustarse a sus horas de clase.

BIBLIOGRAFIA

1. *Introduction to Asphalt*, MS-5. Asphalt Institute.
2. *Asphalt Pocketbook of Useful Information*, MS-6. Asphalt Institute.
3. *Specifications for Paving and Industrial Asphalts*, SS-2. Asphalt Institute.
4. *Asphalt as a Material*, IS-93. Asphalt Institute.
5. Libro Anual de las normas ASTM, Parte 15, American Society for Testing and Materials.
6. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. Parte II: Methods of Sampling and Testing. American Association of State Highway and Transportation Officials.

AUDIOVISUALES AUXILIARES

1. *Asphalt Through the Ages*, film de 16 mm (color, sonido, 12 min.), Asphalt Institute.
2. *Testing Asphalt Cement* (132 diapositivas color de 35 mm, narración en cassette, 29 min.), Asphalt Institute.
3. *Testing Liquid Asphalt* (65 diapositivas color de 35 mm, narración en cassette, 17 min.), Asphalt Institute.
4. *Testing Emulsified Asphalt* (108 diapositivas color de 35 mm, narración en cassette, 24 min.), Asphalt Institute.
5. *Viscosity Tests of Asphalt* (79 diapositivas color de 35 mm, narración en cassette, 26 min.), Asphalt Institute.

LECCION 1

REFINACION Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFALTICO

Objetivo: Describir el origen, naturaleza y propiedades del asfalto; su refinación; y las especificaciones y ensayos para el cemento asfáltico.

INTRODUCCION B 5

REFINACION DEL PETROLEO CRUDO B 5

PROPIEDADES O CARACTERISTICAS DESEABLES DEL CEMENTO ASFALTICO..... B 7

 Consistencia B 7

 Pureza B 7

 Seguridad B 7

ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS PARA CEMENTOS ASFALTICOS B 7

 Especificaciones para cementos asfálticos B 7

 Ensayos de viscosidad B 9

 Ensayo de penetración B 10

 Ensayo de punto de inflamación B 11

 Ensayo de película delgada en horno B 12

 Ensayo de película delgada rodante en horno B 12

 Ensayo de ductilidad B 13

 Ensayo de solubilidad B 14

LECCION 1**REFINACION Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFALTICO****INTRODUCCION**

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define al asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido, principalmente, por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos.

El betún, según ASTM, es una sustancia ligante (sólida, semisólida o viscosa) oscura o negra, natural o artificial, compuesta principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas y asfaltitas.

REFINACION DEL PETROLEO CRUDO

El petróleo crudo está compuesto por distintos productos, incluyendo al asfalto. La refinación permite separar estos productos y recuperar el asfalto. El diagrama del proceso para la extracción del asfalto del petróleo (Fig. 1), muestra la circulación del petróleo crudo a través de una refinería destacándose la parte del proceso relativa a la refinación y producción del cemento asfáltico.

Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su temperatura para la destilación inicial. Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas (más volátiles), y se los separa para su posterior refinamiento en nafta, gasolina, querosene y otros productos derivados del petróleo.

El residuo de este proceso de destilación es la fracción pesada del petróleo crudo, comúnmente llamada crudo reducido. Puede ser usado como fuel oil residual, o procesado en distintos productos, entre ellos el asfalto. Para separar la fracción asfalto del crudo reducido se puede utilizar un proceso de extracción mediante solventes. Luego, se refina la mayor parte de esta fracción para obtener cemento asfáltico. Según el proceso de refinación utilizado se obtienen cementos asfálticos de muy alta o de baja consistencia. Estos productos se mezclan después, en cantidades adecuadas, para obtener cementos asfálticos de la consistencia deseada. Los asfaltos sopladados se producen insuflando aire a altas temperaturas al asfalto de consistencia apropiada. Estos asfaltos se discuten en la lección 3

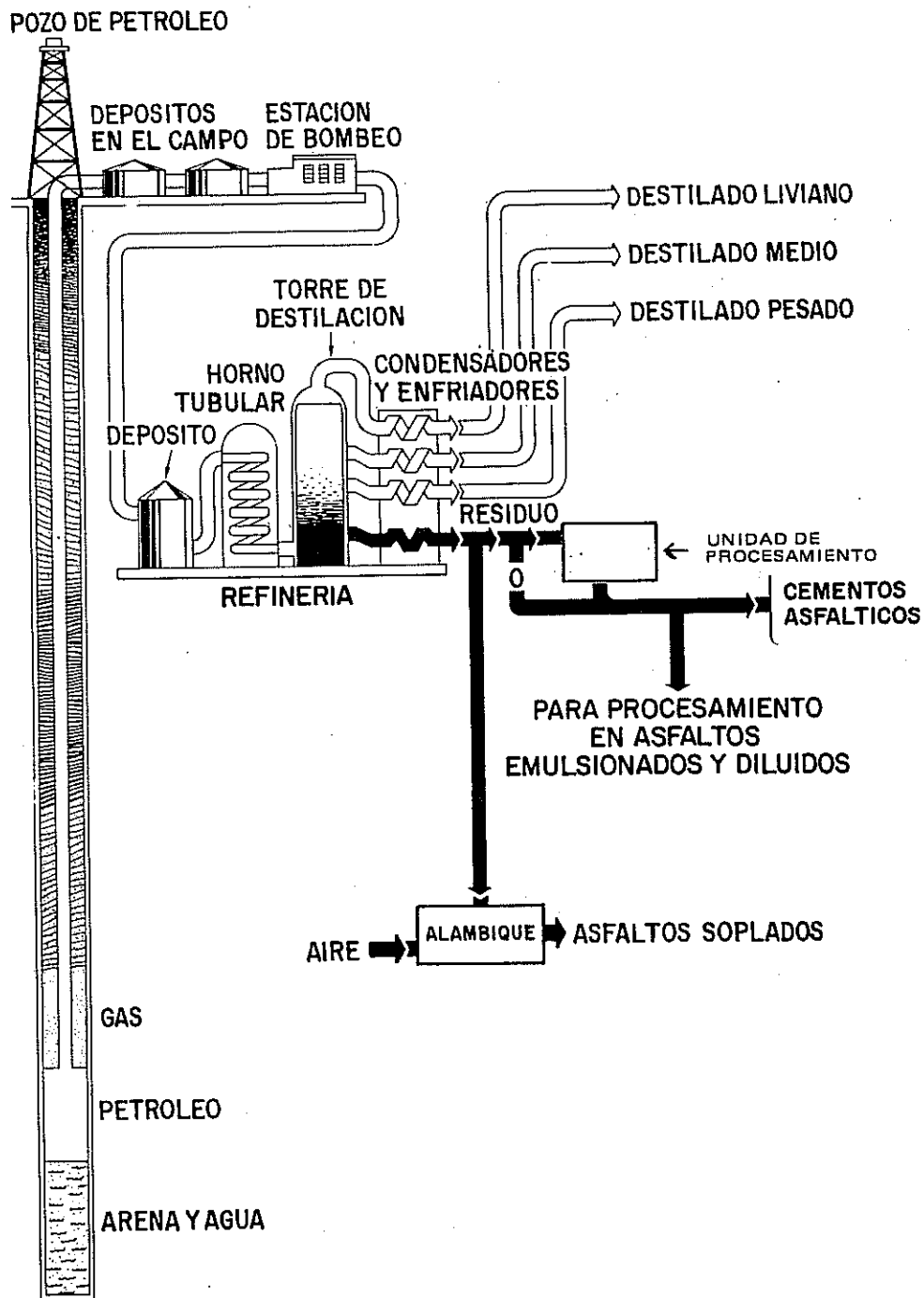


Figura 1.- Diagrama del proceso del petróleo de base asfáltica para obtener cemento asfáltico.

PROPIEDADES O CARACTERISTICAS DESEABLES DEL CEMENTO ASFALTICO

Para los estudios técnicos y la construcción hay tres propiedades o características del asfalto importantes: (1) consistencia (llamada también fluidez, plasticidad o viscosidad), (2) pureza y (3) seguridad.

Consistencia

Para caracterizar a los asfaltos es necesario conocer su consistencia a distintas temperaturas, porque son materiales termoplásticos que se licúan gradualmente al calentarlos. Consistencia es el término usado para describir el grado de fluidez o plasticidad del asfalto a cualquier temperatura dada. Para poder comparar la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro, es necesario fijar una temperatura de referencia. La clasificación de los cementos asfálticos se realiza en base al valor de la consistencia a una temperatura de referencia.

Si se expone al aire cemento asfáltico en películas delgadas y se lo somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo durante el mezclado con el agregado, el asfalto tiende a endurecerse, a aumentar su consistencia. Se permite un aumento limitado de ésta. Por lo tanto, un control no adecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar mayor daño al cemento asfáltico, por endurecimiento, que muchos años de servicio en el camino terminado.

Comunmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o ensayos de penetración. (Para asfaltos sopladados el ensayo de punto de ablandamiento).

Pureza

El cemento asfáltico se compone, casi enteramente, de betunes, los cuales, por definición, son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente, más de 99,5 por ciento solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto casi betunes puros. Las impurezas, si las hay, son inertes.

Normalmente, el cemento asfáltico, cuando deja la refinería, está libre de agua o humedad, pero puede haber humedad en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida, puede causar espumas al asfalto cuando se calienta por encima de los 100°C (212°F).

Seguridad

La espuma puede constituir un riesgo para la seguridad, por lo tanto las normas requieren que el asfalto no forme espuma hasta temperaturas de 175°C (347°F).

El cemento asfáltico, si se lo somete a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o llama. La temperatura a la que esto ocurre es más elevada que la temperatura normalmente usada en las operaciones de pavimentación. Sin embargo, para tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad, se debe conocer el punto de inflamación del asfalto.

ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS PARA CEMENTOS ASFALTICOS

Especificaciones para Cementos Asfálticos

Comercialmente se dispone de cementos asfálticos en varios rangos de consistencia normalizados (grados). Hasta hace poco, estos rangos se basaban solamente en mediciones hechas con el ensayo de penetración; se disponía de cementos asfálticos de cinco grados: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150, y 200-300, que indicaban los rangos permitidos de penetración para cada uno. El más blando (200-300) es moderadamente firme a temperatura ambiente; a esta temperatura, una presión suave con el dedo marca la superficie de la muestra. El más duro (40-50) es de una consistencia que permite sólo una ligera impresión del pulgar, hecha bajo firme presión, a temperatura ambiente.

TABLA 1 ENSAYOS REQUERIDOS POR EL CEMENTO ASFALTICO USADO EN PAVIMENTACION

Ensayo	Método de Ensayo		Especificaciones para cementos asfálticos	
			AASHTO M226 ¹ ASTM D3381 ¹	AASHTO M20 ASTM D946
	AASHTO	ASTM	Clasif. s/viscosidad	Clasif. s/penetración
Viscosidad absoluta	T202	D2171	X	.....
Viscosidad cinemática	T201	D2170	X	.....
Penetración	T49	D5	X	X
Punto de inflamación (COC)	T48	D92	X	X
Película delgada en horno	T179	D1754	X	X
Película delg. rodante en horno	T240	D2872	X	.....
Ductilidad	T51	D113	X	X
Solubilidad en tricloroetileno	T44	D2042	X	X
Ensayo de la mancha (2)	T102	.....	X	X
Agua	T55	D95	X	X

¹ AASHTO M226 y ASTM D3381 tiene tres tablas de límites de especificaciones. Las dos primeras se basan en el asfalto original, mientras que la tercera se basa en el residuo del ensayo de película delgada rodante en horno.

² Ensayo opcional requerido por la AASHTO

La clasificación de los asfaltos basada en el ensayo de penetración es un método antiguo, empírico, inadecuado para la tecnología moderna. La tendencia actual, de base más científica, es clasificar los cementos asfálticos de acuerdo a su viscosidad (*) en poises a 60°C (140°F). La unidad de viscosidad en el sistema c.g.s. es el poise (P) equivalente a 1 g/cm.s (1 dina.s/cm²) y en el SI es 1 Pa.s (1 N.s/m²), equivalente a 10 P. Se dispone de dos series de cementos asfálticos de distintos grados de viscosidad. Una tiene los grados AC-2,5; AC-5; AC-10; AC-20 y AC-40, donde los valores numéricos indican la viscosidad en cientos de poises a 60° C(140°F). La tolerancia admisible para cada clase es de 20 por ciento, en más o en menos. La otra tiene los grados AR-1000, AR-2000, AR-8000 y AR-16000 en que los valores numéricos indican la viscosidad en poises pero medida en asfalto ya ensayado con el ensayo de película delgada rodante en horno. Por lo tanto las series AR deben ser interpretadas como series de "Residuo viejo". La tolerancia en estas clases es de 25 por ciento, en más o en menos.

Normalmente, los asfaltos de bajo grado de viscosidad corresponden a los asfaltos blandos de alto valor de penetración. Por el contrario, los asfaltos de alta viscosidad corresponden a los asfaltos duros o de bajo grado de penetración. Sin embargo, esto no necesariamente se cumple en todos los casos.

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la American Society for Testing and Materials (ASTM) han adoptado las especificaciones a que se ha hecho referencia últimamente para la clasificación de cementos asfálticos para pavimentación. Además del ensayo de viscosidad a 60°C (140°F) o el de penetración para definir el grado o rango de consistencia, se requieren algunos otros ensayos para determinar las propiedades específicas de estos productos. En la Tabla 1 se muestra una lista de ensayos, con el método apropiado según AASHTO o ASTM y la indicación de qué especificaciones requiere el ensayo. A continuación sigue una breve descripción de estos ensayos.

* No hay una relación directa entre ambos ensayos, porque mientras el de viscosidad es científico, el de penetración es empírico. Además la relación entre la penetración y la viscosidad varía para distintos asfaltos obtenidos de cruces de distintas fuentes.

Ensayos de viscosidad

Las especificaciones de los cementos asfálticos clasificados según su viscosidad se basan por lo común en los rangos de viscosidad a 60°C (140°F). También se especifica generalmente una viscosidad mínima a 135°C (275°F). El propósito es dar valores límites de consistencia a estas dos temperaturas. Se eligió la temperatura de 60°C (140°F) porque se aproxima a la máxima temperatura superficial de las calzadas en servicio pavimentadas con mezclas asfálticas en los Estados Unidos y en cualquier otra parte del mundo en donde la construcción de caminos progresa; y la de 135°C (275°F), porque se aproxima a la de mezclado y distribución de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.

Para el ensayo de viscosidad a 60°C (140°F) se emplea un viscosímetro de tubo capilar. Los dos tipos más comunes en uso son: el viscosímetro de vacío del Asphalt Institute (Fig. 2) y el viscosímetro de vacío de Cannon-Manning (Fig. 3). Se calibran con aceites normalizados. Para cada viscosímetro se obtiene un "factor de calibración", cuyo uso se describe luego. Generalmente, los viscosímetros vienen calibrados por el fabricante quien suministra estos factores.

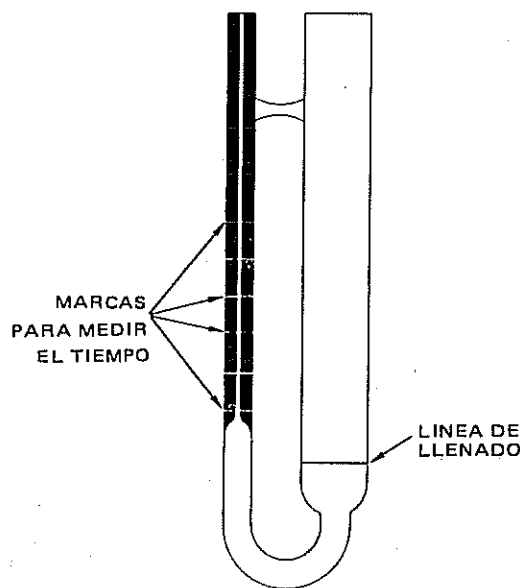


Figura 2.- Viscosímetro de vacío del Asphalt Institute

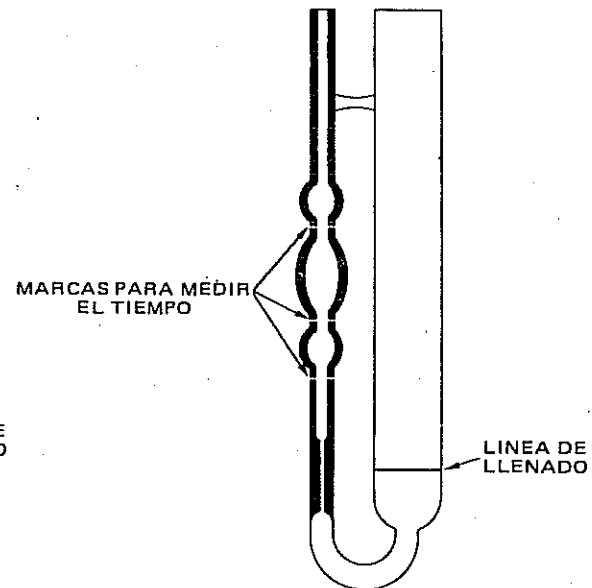


Figura 3.- Viscosímetro de vacío de Cannon-Manning

El viscosímetro se monta en un baño de agua a temperatura constante, controlado termostáticamente (Fig. 4). Se vuelca asfalto precalentado en el tubo grande hasta que alcanza el nivel de la línea de llenado. El viscosímetro lleno se mantiene en el baño por un cierto tiempo hasta que el sistema alcance la temperatura de equilibrio de 60°C (140°F).

Se aplica un vacío parcial en el tubo pequeño para inducir el flujo, porque el cemento asfáltico a esta temperatura es muy viscoso para fluir fácilmente a través de los tubos capilares del viscosímetro. En la figura 4 se muestra un dispositivo para el control del vacío. También se conecta al sistema una bomba de vacío.

Luego que el baño, viscosímetro y el asfalto se han estabilizado en 60°C (140°F), se aplica vacío y se mide con un cronómetro el tiempo, en segundos, que tarda el cemento asfáltico en fluir entre dos de las marcas. Multiplicando este tiempo por el factor de calibración del viscosímetro se obtiene el valor de la viscosidad en poises, la unidad patrón para medir viscosidad absoluta.

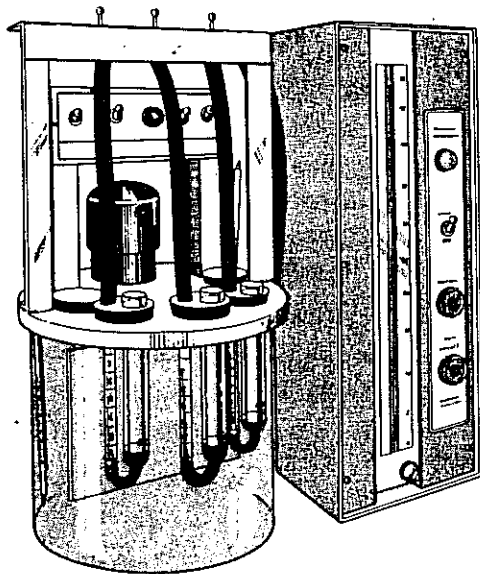


Figura 4.- Viscosímetro en el "baño"

El viscosímetro de vacío del Asphalt Institute tiene muchas marcas para medir el tiempo. Seleccionando el par apropiado, se puede usar para asfaltos con una amplia variación de consistencias.

Los cementos asfálticos para pavimentación son lo suficientemente fluidos a 135°C (275°F) para fluir a lo largo de tubos capilares bajo fuerzas gravitacionales únicamente. Por lo tanto, se usa un tipo distinto de viscosímetro, ya que no se requiere vacío. El más usado es el viscosímetro de brazos cruzados Zeitfuchs (Fig. 5). También se lo calibra con aceites normalizados.

Como estos ensayos se hacen a 135°C (275°F), para el baño se requiere un aceite claro apropiado. Se monta el viscosímetro en el baño (Fig. 6) y se vuelca el asfalto en la abertura mayor hasta que llegue a la línea de llenado. Como antes, se deja que el sistema alcance la temperatura de equilibrio. Para que el asfalto comience a fluir por el sifón que está justo encima de la línea de llenado, es necesario aplicar una pequeña presión en la abertura mayor o un ligero vacío en la menor. Entonces el asfalto fluirá hacia abajo en la sección vertical del tubo capilar debido a la gravedad. Cuando el asfalto alcanza la primera de las marcas se comienza a medir el tiempo hasta que alcanza la segunda. El intervalo de tiempo, multiplicado por el factor de calibración del viscosímetro, da la viscosidad cinemática en centistokes.

Es necesario destacar que las medidas de viscosidad para 135°C (275°F) se expresan en centistokes y para 60°C (140°F), en poises. En el ensayo de viscosidad cinemática, la gravedad induce el flujo (resultados en centistokes) y la cantidad de flujo a través del tubo capilar depende de la densidad del material. En el ensayo de viscosidad absoluta, los resultados se dan en poises, y el flujo a través del tubo capilar se induce por medio de un vacío parcial, siendo los efectos gravitacionales despreciables. Estas unidades -poises y stokes o centipoises y centistokes- pueden ser convertidas unas en otras aplicando, simplemente, un factor debido a la densidad.

Ensayo de penetración

La consistencia del asfalto puede medirse con un método antiguo y empírico, como es el ensayo de penetración, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados. En la figura 7 puede verse el ensayo de penetración normal. Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico hasta la temperatura de referencia, 25°C (77°F), en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada, de 100 grs. de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm.

Ocasionalmente el ensayo de penetración se realiza a distinta temperatura en cuyo caso puede variarse la carga de la aguja, el tiempo de penetración, o ambos.

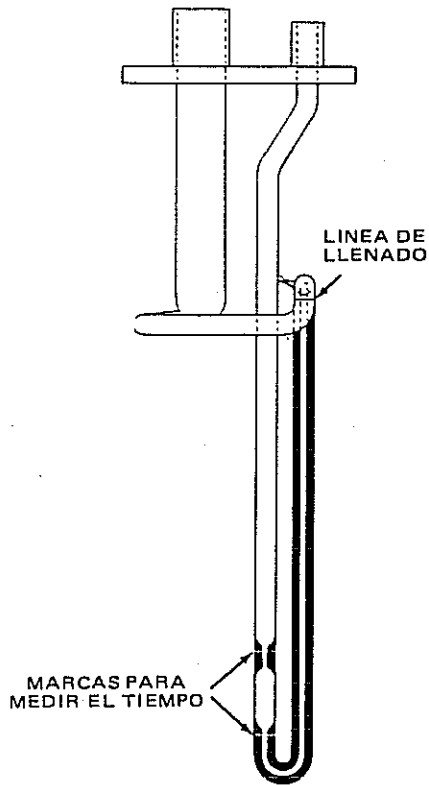


Figura 5.- Viscosímetro de brazos cruzados Zeifuchs

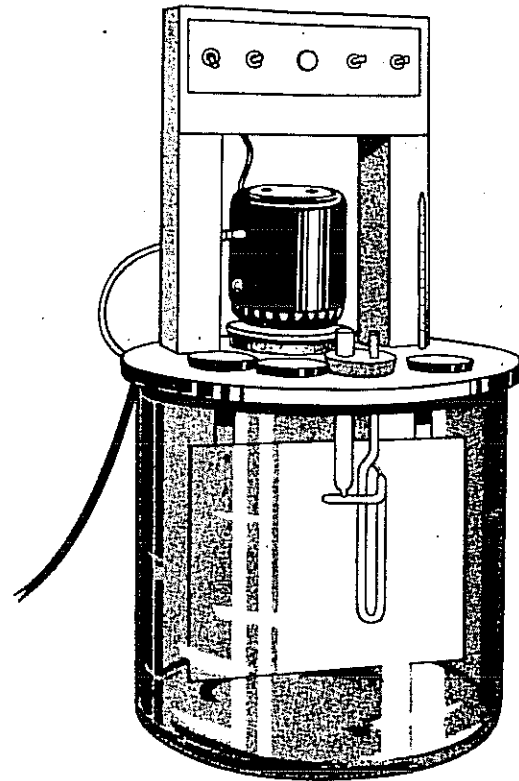


Figura 6.- Viscosímetro en el "baño"

Ensayo de punto de inflamación

Quando se calienta un asfalto, libera vapores que son combustibles. El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado con seguridad un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre. Esta temperatura, sin embargo, está bastante por debajo, en general, de la que el material entra en combustión permanente. Se la denomina punto de combustión (fire point), y es muy raro que se use en especificaciones para asfalto.

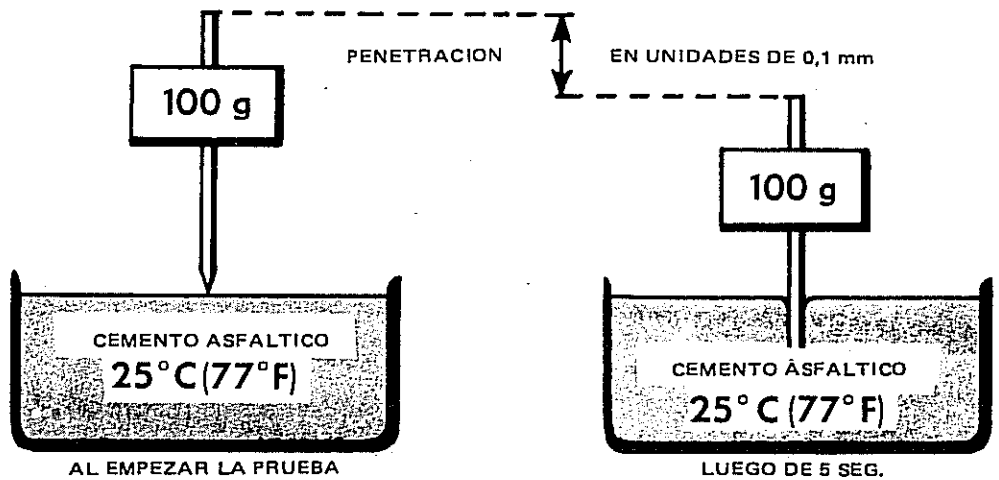


Figura 7.- Ensayo de penetración

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de "vaso abierto Cleveland" (COC) (Fig. 8), que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo estipulados. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

Ensayo de película delgada en horno

Este no es en realidad un ensayo, sino un procedimiento destinado a someter a una muestra de asfalto a condiciones de endurecimiento aproximadas a aquellas que ocurren durante las operaciones normales de una planta de mezclado en caliente. Para medir la resistencia al endurecimiento del material bajo estas condiciones, se hacen al asfalto ensayos de penetración o de viscosidad antes y después del ensayo.

Se coloca una muestra de 50 ml de cemento asfáltico en un recipiente cilíndrico de fondo plano de 140 mm (5,5 pulgadas) de diámetro interno y 10 mm (3/8 pulgada) de profundidad. El espesor de la capa de asfalto es de 3 mm (1/8 pulgada) aproximadamente. El recipiente conteniendo a la muestra se coloca en un plato que gira alrededor de 5 a 6 revoluciones por minuto durante 5 horas dentro de un horno ventilado (Fig. 9) mantenido a 163°C (325°F). Luego se vuelca el cemento asfáltico en un recipiente normalizado para hacerle el ensayo de viscosidad o de penetración.

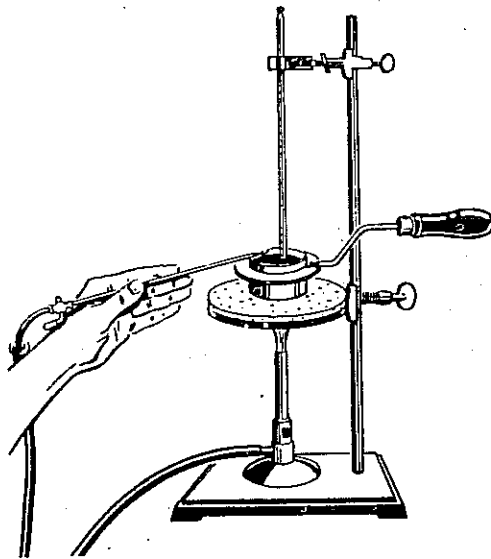


Figura 8.- Ensayo de punto de inflamación con el "vaso abierto Cleveland"

Ensayo de película delgada rodante en horno

Este ensayo es una variante del anterior, desarrollado por agencias del oeste de los Estados Unidos. El propósito es el mismo pero cambian los equipos y procedimientos de ensayo.

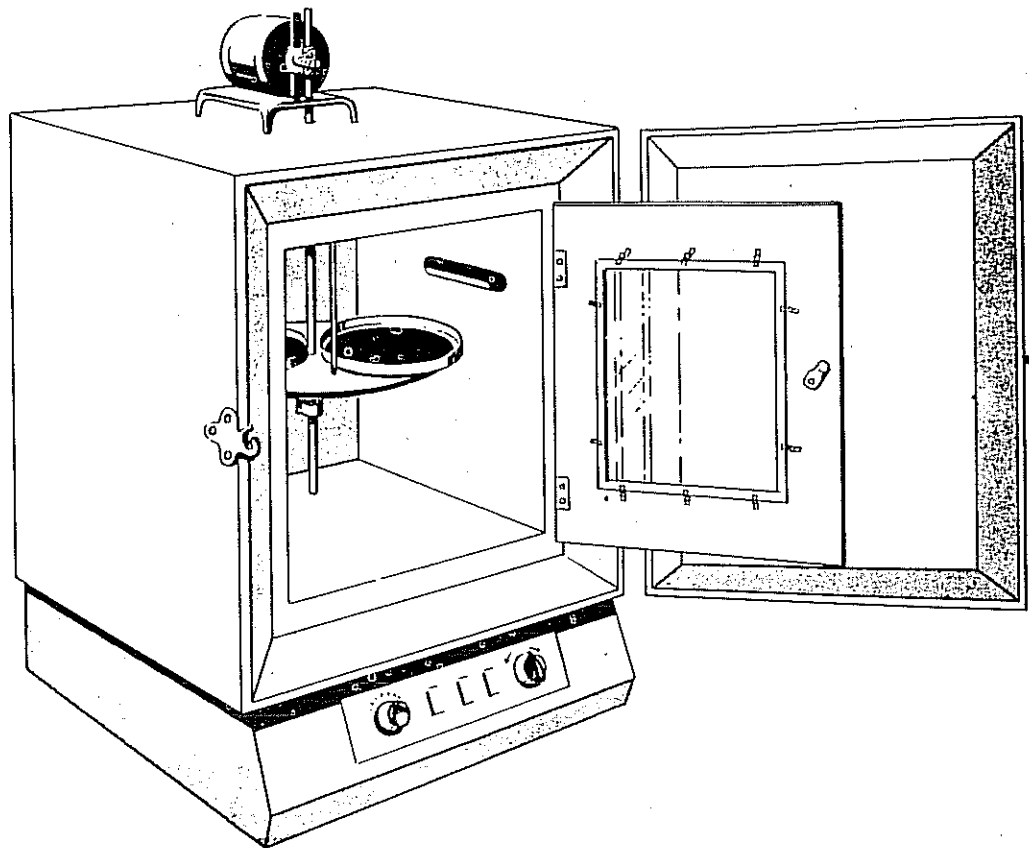


Figura 9.- Ensayo de película delgada en horno

La figura 10 muestra el horno usado para el ensayo de película delgada rodante y también el frasco de diseño especial para contener la muestra. Se vuelca en el frasco una determinada cantidad de cemento asfáltico y se lo coloca en un soporte que rota con cierta velocidad alrededor de un eje horizontal, con el horno mantenido a una temperatura constante de 163°C (325°F). Al rotar el frasco, el cemento asfáltico es expuesto constantemente en películas nuevas. En cada rotación, el orificio del frasco de la muestra pasa por un chorro de aire caliente que barre los vapores acumulados en el recipiente.

En este horno, se puede acomodar un mayor número de muestras que en el horno del ensayo de película delgada. El tiempo requerido para alcanzar determinadas condiciones de endurecimiento en la muestra es también menor para este ensayo.

Ensayo de ductilidad

Algunos ingenieros consideran que la ductilidad es una característica importante de los cementos asfálticos. Sin embargo, generalmente se considera más significativa la presencia o ausencia de la misma, que su grado real. Algunos cementos asfálticos que tienen un grado muy alto de ductilidad son también más susceptibles a la temperatura. Es decir, que la variación de la consistencia puede ser mayor debido al cambio de temperatura.

La ductilidad de un cemento asfáltico se mide con un ensayo tipo "extensión" (Fig. 11) para el que se moldea una probeta de cemento asfáltico en condiciones y medidas normalizadas. Se la lleva a la temperatura de ensayo de la norma, generalmente 25°C (77°F) y se separa una parte de la probeta de la otra a cierta velocidad, normalmente 5 cm por minuto, hasta que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra. La ductilidad del asfalto es la distancia (en centímetros) a la cual se rompe dicho hilo.

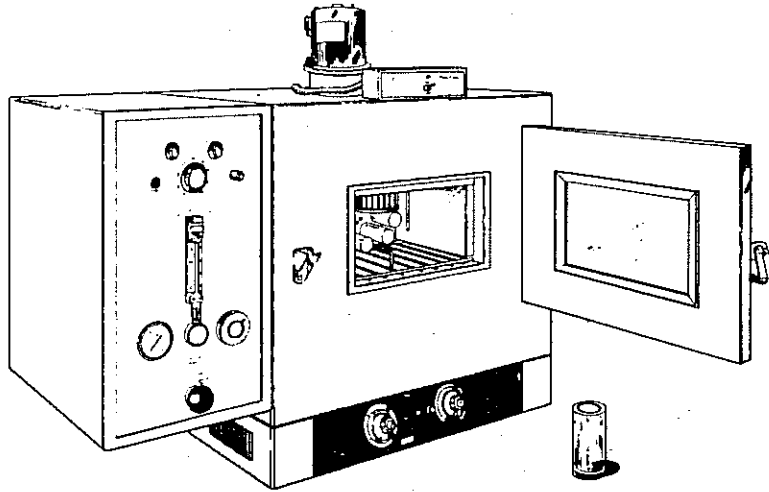


Figura 10.- Ensayo de película delgada rodante en horno

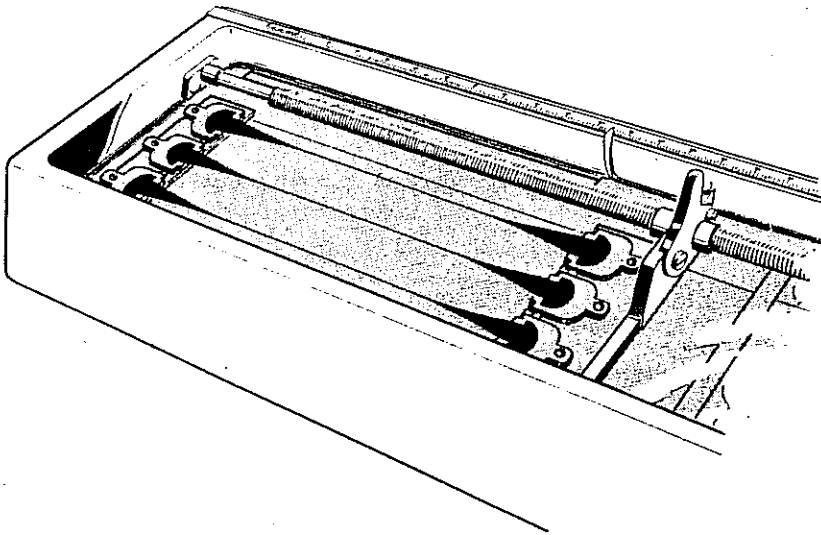


Figura 11.- Ensayo de ductilidad

Ensayo de solubilidad

El ensayo de solubilidad es una medida de la pureza del cemento asfáltico. La parte del mismo soluble en bisulfuro de carbono representa los constituyentes activos de cementación. Solo la materia inerte, como sales, carbón libre, o contaminantes inorgánicos, no son solubles.

En este ensayo se usa generalmente tricloroetileno, que es menos peligroso que el bisulfuro de carbono y otros solventes. La mayoría de los cementos asfálticos son igualmente solubles en cualquiera de ellos.

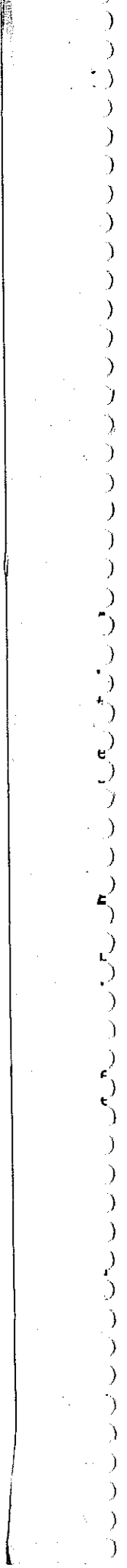
El proceso para determinar la solubilidad es muy simple. Se disuelven aproximadamente 2 grs. de asfalto en 100 ml de solvente y se filtra la solución a través de una plancha de asbesto colocada en un crisol de porcelana (Gooch). Se pesa el material retenido por el filtro y se lo expresa como porcentaje de la muestra original, obteniéndose el porcentaje soluble en bisulfuro de carbono.

LECCION 2

ASFALTOS EMULSIONADOS Y DILUIDOS

Objetivo: Describir los propósitos y usos de estos tipos de asfalto, su preparación, especificaciones y ensayos.

INTRODUCCION	B 17
Descripción	B 17
Emulsiones asfálticas	B 17
Asfaltos diluídos (Cutback Asphalts)	B 18
Proceso para obtener las emulsiones asfálticas y los asfaltos diluídos	B 19
Usos de los asfaltos emulsionados y diluídos	B 19
ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS PARA LAS EMULSIONES ASFALTICAS	B 19
Especificaciones	B 19
Ensayo de viscosidad Saybolt Furol	B 21
Ensayo de sedimentación	B 22
Ensayo de estabilidad para almacenamiento	B 23
Ensayo de clasificación	B 23
Ensayo de desemulsión	B 23
Ensayo de mezcla con cemento	B 23
Capacidad de recubrimiento y resistencia al agua	B 24
Ensayo de carga de las partículas	B 24
Ensayo de tamiz	B 25
Ensayo de destilación	B 25
ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS PARA ASFALTOS DILUIDOS	B 26
Especificaciones para asfaltos diluídos	B 26
Ensayos de viscosidad cinemática	B 26
Ensayo de punto de inflamación	B 27
Ensayo de destilación	B 27
Ensayo asfalto residual de penetración 100.	B 28
Ensayo de agua	B 28



LECCION 2

ASFALTOS EMULSIONADOS Y DILUIDOS

INTRODUCCION

Descripción

En la lección anterior se vió que la forma de fluidificar el cemento asfáltico para poder bombearlo a lo largo de cañerías, mezclarlo con el agregado o distribuirlo a través de toberas, era calentándolo. Luego cuando se enfría, se convierte en material ligante semisólido.

Pero también hay otros métodos, como diluirlo mediante solventes seleccionados de petróleo o emulsionarlo con agua, obteniéndose así los asfaltos diluidos y los asfaltos emulsionados o emulsiones asfálticas. La idea es que terminada la construcción, el solvente (*), o el agua se evaporan, dejando al cemento asfáltico en condiciones de cumplir su función.

Emulsiones asfálticas

En el proceso de emulsificación, se separa mecánicamente el cemento asfáltico caliente en glóbulos diminutos, que son dispersados en agua tratada con una pequeña cantidad de agente emulsivo. El agua constituye el medio de dispersión del sistema y las gotitas de asfalto la fase dispersa.

Las emulsiones se fabrican en molinos coloidales, y las gotitas de asfalto producidas son extremadamente pequeñas, la mayoría de tamaño coloidal.

Se pueden preparar emulsiones asfálticas de distintos tipos y clases, seleccionando el agente emulsivo apropiado y otros controles de fabricación. De acuerdo al agente emulsivo elegido, la emulsión asfáltica puede ser:

1. Aniónica — las partículas de asfalto están cargadas electronegativamente.
2. Cationica — las partículas de asfalto están cargadas electropositivamente.
3. No iónicas — las partículas de asfalto son neutras.

En la práctica, las dos primeras clases se usan en la construcción y mantenimiento de caminos, mientras que la tercera va a ser más ampliamente usada con el avance de la tecnología de las emulsiones.

De acuerdo al material y al proceso de fabricación, las emulsiones asfálticas aniónicas y cationicas se pueden clasificar en distintos grados:

* En ciertas zonas con control ambiental se prohíbe el uso de asfaltos diluidos debido a la evaporación del solvente.

Aniónica

RS - 1*
 RS - 2
 MS - 1
 MS - 2
 MS - 2h
 HFMS - 1
 HFMS - 2
 HFMS - 2h
 HFMS - 2s
 SS - 1
 SS - 1h

Catiónica

CRS - 1*
 CRS - 2
 ———
 CMS - 2
 CMS - 2h
 ———
 ———
 ———
 CSS - 1
 CSS - 1h

* RS: significa "Rapid Setting", (Rotura Rápida); MS: "Medium Setting", (Rotura Media); SS: "Slow Setting", (Rotura Lenta); CRS: "Cationic Rapid Setting", (Rotura Rápida Catiónica); CMS: "Cationic Medium Setting", (Rotura Media Catiónica); CSS: "Cationic Slow Setting", (Rotura Lenta Catiónica). (N. del T.).

La "h" que sigue a ciertos grados significa que se usa un asfalto base más duro. La "HF", que precede a algunos de los grados MS indica alta flotabilidad, medida por el ensayo de flotación (AASHTO T50 o ASTM DI39). Esto significa que se le agregan ciertas sustancias químicas que permiten que se forme una película de asfalto de mayor espesor sobre las partículas de los agregados, minimizando la probabilidad de lavado. Algunas oficinas especifican un grado adicional de cationicas, para mezclar con arena, denominado CMS-2s, que contiene más solvente. Los productores no tienen en stock esta larga lista de emulsiones, por lo tanto, para facilitar el servicio y el aprovisionamiento de determinadas clases, es necesario planificar y establecer comunicaciones entre el usuario y el productor.

Durante la construcción, las emulsiones deben permanecer suficientemente fluidas para su correcta aplicación. El agente emulsivo mantiene las gotitas de asfalto separadas hasta que se haya depositado la emulsión en la superficie del suelo o en las partículas del agregado. Si el asfalto de la emulsión debe cumplir la función de ligante e impermeabilizante, debe separarse la fase asfáltica de la fase líquida, lo que se logra por neutralización de las cargas electrostáticas y/o por evaporación del agua. Se juntan las gotas de asfalto y forman una película continua sobre el agregado o el pavimento. Esta coalescencia de las gotas de asfalto es más rápida en los grados de rotura rápida. El tiempo que tarda en producirse la coalescencia o la evaporación, es el tiempo de rotura o de asentamiento. La forma y tiempo de rotura de las emulsiones depende fundamentalmente de la cantidad y propiedades del agente emulsivo utilizado y de la proporción relativa de agua.

Asfaltos diluidos (Cutback Asphalts)

Para disolver el cemento asfáltico, se usan solventes de petróleo, conocidos también como diluyentes o destilados. Si el solvente para diluir el asfalto es altamente volátil, se evapora rápidamente; por el contrario, los de baja volatilidad lo hacen más despacio. Por lo tanto, basándose en la velocidad relativa de evaporación, se puede dividir a los asfaltos diluidos en tres tipos:

1. Curado rápido (RC)** cemento asfáltico y un diluyente liviano de alta volatilidad, generalmente con un punto de ebullición de rango similar a la nafta o gasolina.
2. Curado medio (MC) cemento asfáltico y un diluyente mediano de volatilidad media, generalmente en el orden del punto de ebullición del querosene.
3. Curado lento (SC) cemento asfáltico y aceites de baja volatilidad.

** RC: Rapid curing; MC: Medium curing; SC: Slow curing. En Argentina: ER: Endurecimiento rápido; EM: Endurecimiento medio; EL: Endurecimiento lento (N. del T.)

A los asfaltos diluídos de curado lento (SC) suele llamárselo "road oils" (aceites de carreteras), nombre que proviene de cuando el aceite residual del asfalto se usaba para construir caminos de bajo costo en los que se pudiera circular bajo cualquier condición climática.

El grado de fluidez de cada caso depende fundamentalmente de la proporción de solvente en el cemento asfáltico y, en menor grado, de la dureza del asfalto base del cual se hizo el diluido. Por lo tanto, de acuerdo al grado de fluidez, hay distintos tipos de asfaltos diluídos, algunos muy fluídos a temperatura ambiente, y otros más viscosos, que requerirán una pequeña cantidad de calor para hacerlos suficientemente fluídos para las operaciones a las que va a estar sometido.

Proceso para obtener emulsiones asfálticas y asfaltos diluídos

En la figura 1 se muestra más detalladamente la secuencia para fabricar materiales asfálticos emulsionados y diluídos, dentro del diagrama del procesamiento del petróleo. Es importante destacar en cada caso que el material base fluidificado, por emulsionarlo o diluirlo, es el cemento asfáltico.

También debe resaltarse que el asfalto diluido del tipo SC puede ser obtenido por destilación directamente, cuando el crudo reducido es de calidad adecuada y puede ser refinado hasta la consistencia apropiada para servir como uno de los tipos normalizados de los asfaltos diluídos SC.

Usos de los asfaltos emulsionados y diluídos

Las ventajas de las emulsiones asfálticas con respecto a los asfaltos en caliente, es que pueden ser usadas con el agregado frío o calentado, seco o húmedo. Esto último es también una ventaja sobre los diluídos, que requieren que el agregado esté seco.

Las emulsiones asfálticas se usan tanto para construcción de caminos como para otras aplicaciones especiales. Por ejemplo, para construcción de macadams asfálticos a penetración, sellados y tratamientos bituminosos superficiales. En estos casos pueden usarse las de rotura rápida; en mezclas en el camino o en planta con agregado grueso y en mezclas para bacheo, principalmente las de rotura media; y en mezclas con agregado fino o suelo se emplean a menudo las de rotura lenta.

Los asfaltos diluídos se pueden usar, calentándolos muy poco, con agregados fríos. Sus variedades RC y MC se han usado mucho en caminos, pistas de aviones, industrias y otras aplicaciones especiales. Entre sus usos más importantes están las operaciones de mezclado en obra, mezclas para almacenar y riegos superficiales (para imprimaciones riegos de liga y sellados). Pero las emulsiones asfálticas están reemplazando a los diluídos en la mayoría de estos usos, debido al control ambiental y a que los diluyentes son productos de alto valor energético, que se pierden por evaporación.

Los asfaltos diluídos SC se utilizan, principalmente, en las zonas centroeste y lejano oeste de los Estados Unidos, para mezclado en el camino y paliativo de polvo. También en mezclas de bacheo para almacenar, mezcla en planta con agregados graduados y ocasionalmente para imprimación. En estas zonas, su uso también está decayendo.

ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS PARA EMULSIONES ASFALTICAS

Especificaciones

Debido a la variedad de usos de las emulsiones asfálticas, se las fabrica con distintas viscosidades de cemento asfáltico base y diferentes roturas. AASHTO y ASTM adoptaron especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas y aniónicas. Hay tres tipos normalizados de aniónicas: rotura rápida (RS), rotura media (MS), y rotura lenta (SS). Para las catiónicas se dispone de los mismos tipos designados como CRS, CMS y CSS que pueden tener una letra "h", a continuación, que significa que la emulsión se ha hecho con un cemento asfáltico base más viscoso.

Para el ensayo a 50°C (122°F), se debe calentar la muestra a $50 \pm 3^\circ\text{C}$ ($122 \pm 5^\circ\text{F}$) y se la vuelca, colándola, en el tubo. Se la lleva a la temperatura de ensayo, se saca el tapón y se cronometrea el tiempo, como ya se describió antes.

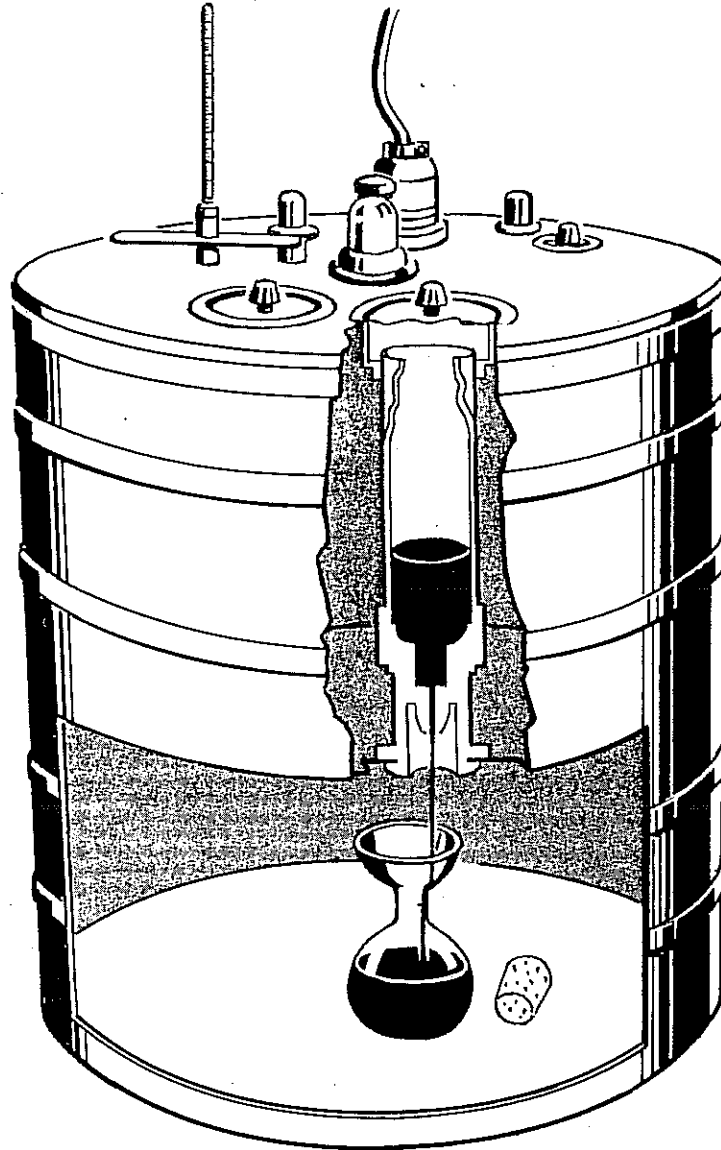


Figura 2.- Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.

Ensayo de sedimentación

El ensayo de sedimentación detecta la tendencia de las partículas de asfalto a “perder la estabilidad” durante el almacenamiento de la emulsión. Le da al usuario un elemento de protección contra la separación del asfalto y el agua en emulsiones asfálticas inestables, que deben ser almacenadas por un cierto tiempo.

Se colocan dos muestras de 500 ml en sendos tubos de vidrio graduados y se los deja descansar tapados, por 5 días. Luego se toman pequeñas muestras de la parte superior e inferior de cada tubo, se coloca cada muestra en un frasco y se las pesa. Se las calienta hasta que se evapora el agua y se pesa el residuo. Los pesos obtenidos permiten determinar la diferencia, si la hay, entre el contenido de cemento asfáltico de la parte superior y el de la parte inferior, proveyendo así una medida del asentamiento.

Ensayo de estabilidad para almacenamiento

El ensayo de estabilidad para almacenamiento permite hacer determinaciones de estabilidad en un tiempo relativamente corto. Puede ser usado en lugar del ensayo de asentamiento, que dura 5 días.

Se colocan dos muestras de 500 ml en sendos tubos de vidrio graduados. Se los tapa y se los deja descansar por 24 horas. Se toman muestras de 50 g de la parte superior e inferior de cada tubo, se las coloca en frascos, se las revuelve y se pesan. Se calientan en un horno para evaporar el agua y se pesan los residuos. Se puede determinar entonces el porcentaje promedio de residuos en la porción superior y en la inferior de la muestra. La diferencia entre ambos porcentajes de residuos es la estabilidad de almacenamiento.

Ensayo de clasificación

El ensayo de clasificación es un procedimiento que sirve para distinguir las emulsiones asfálticas catiónicas de rotura de rápida de otras emulsiones, a través de su falla para recubrir una mezcla de arena y cemento.

Se mezcla en una bandeja una muestra de arena de Ottawa, de 461 g, secada al aire, con 4 g de cemento Portland Tipo III. A esta mezcla se le agrega una muestra de 35 g de la emulsión asfáltica, mezclándolas cuidadosamente por 2 1/2 minutos. Se saca cualquier exceso de emulsión y se coloca una porción de la mezcla en un papel absorbente para hacerle un examen visual. Si el área no recubierta de las partículas de arena es mucho mayor que el área cubierta, se considera que es una emulsión catiónica de rotura rápida.

Ensayo de desemulsión

El cloruro de calcio hace coagular o flocular a las partículas microscópicas presentes en las emulsiones asfálticas aniónicas. Para hacer el ensayo, se mezcla cuidadosamente una muestra de 100 g con una solución de cloruro de calcio, se la vuelca sobre un tamiz de 1,40 mm (Nº 14) y se la lava. La cantidad de residuo asfáltico retenido nos da el grado de coalescencia.

En una emulsión asfáltica aniónica de rotura rápida se requiere un alto grado de desemulsión porque debe romperse inmediatamente en contacto con la superficie del agregado. Por lo tanto para determinar esta propiedad, en estos productos, se usa una solución de cloruro de calcio muy débil.

Los grados de rotura lenta se usan en mezclas con contenido de agregados finos o en otras aplicaciones en las que no es deseable la coalescencia rápida de las partículas de asfalto. Por lo tanto, para controlar el grado de asentamiento en estos productos se usa el ensayo de mezcla con cemento en lugar del de desemulsión.

Ensayo de mezcla con cemento

Como ya se dijo, este ensayo se usa para las emulsiones de rotura lenta en lugar del de desemulsión. Se especifica en las emulsiones aniónicas y catiónicas para asegurar que no se va a producir coalescencia rápida de las partículas de asfalto al entrar en contacto con suelos de granos finos o agregados polvorientos.

Se agregan 100 ml de emulsión - diluída con agua hasta 55 por ciento de residuo - a una muestra de 50 g de cemento Portland de alta resistencia inicial, revolviéndolos. Se agrega más agua. Se lava la muestra sobre un tamiz de 1,40 mm (Nº 14) y se determina la cantidad de material retenido en el mismo.

Capacidad de recubrimiento y resistencia al agua

Este ensayo tiene un triple propósito. Su objetivo es determinar la capacidad de una emulsión asfáltica para; (1) cubrir totalmente el agregado, (2) soportar el mezclado sin que se rompa la película formada y (3) resistir la acción de lavado del agua cuando se completó el mezclado. Este ensayo, principalmente, ayuda en la elección de emulsiones asfálticas apropiadas para mezclar con agregados gruesos calcáreos.

Se cubre con polvo de carbonato de calcio el agregado elegido y se lo mezcla con la emulsión asfáltica. Se coloca aproximadamente la mitad de la mezcla sobre un papel absorbente para un examen visual de la superficie del agregado cubierta de emulsión asfáltica. Se lava con agua el resto de la muestra y se enjuaga hasta que el agua salga clara. Se coloca este material sobre un papel absorbente y se evalúa el recubrimiento.

Se cubre otra muestra de agregado con polvo de carbonato de calcio y se la mezcla con una cantidad de agua dada. Se agrega la emulsión asfáltica y se mezcla cuidadosamente. Se le hacen las mismas evaluaciones ya vistas anteriormente.

Ensayo de carga de las partículas

Este es un ensayo de identificación para emulsiones asfálticas catiónicas de rotura rápida y media.

Se sumerge un electrodo positivo (ánodo) y un electrodo negativo (cátodo) en una muestra de emulsión asfáltica (fig. 3), y se los conecta a una fuente controlada de corriente eléctrica continua. Después de 30 minutos, o cuando la corriente decaiga a 2 miliamperes, se examinan los dos electrodos para determinar cual tiene un depósito de asfalto. Si está en el cátodo, estamos en presencia de una emulsión asfáltica catiónica.

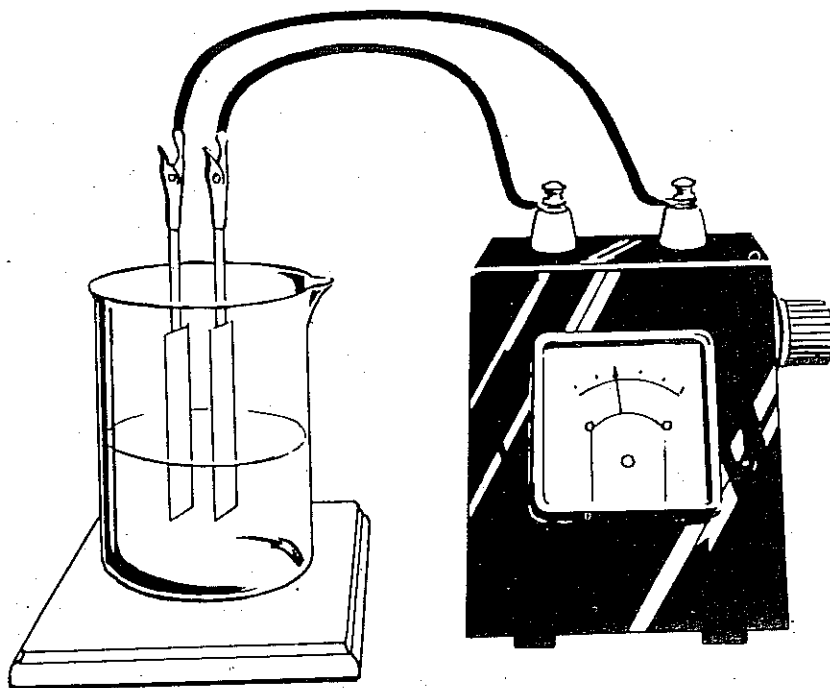


Figura 3.- Ensayo de carga de partículas.

Ensayo de tamiz

El ensayo de tamiz complementa al de sedimentación y tiene, en cierta forma, un propósito similar. Se utiliza para determinar cuantitativamente el porcentaje de cemento asfáltico que forma glóbulos relativamente grandes, grumos o fibras que pueden obstruir los equipos y formar recubrimientos de asfalto no uniformes sobre las partículas del agregado. El ensayo de sedimentación puede no detectar esta falta de uniformidad, ya que tiene valor sólo cuando hay una diferencia suficiente entre los pesos específicos del asfalto y del agua que permita la sedimentación.

En el ensayo de tamiz, se vierte 1000 g de emulsión asfáltica sobre un tamiz de 850μ (Nº 20). Tratándose de emulsiones aniónicas se enjuagan el tamiz y el asfalto retenido con una solución suave de oleato de sodio, y con agua destilada, en caso de emulsiones catiónicas. Luego se secan el tamiz y el asfalto en un horno y se determina la cantidad relativa de asfalto retenido en el tamiz.

Ensayo de destilación

El ensayo de destilación sirve para determinar la proporción relativa de cemento asfáltico y agua presentes en la emulsión asfáltica. También permite obtener información sobre la cantidad de destilado de petróleo, contenido en algunas clases de emulsión asfáltica. Con el cemento asfáltico residual de este ensayo se puede hacer otros ensayos adicionales (penetración, solubilidad y ductilidad) ya descritos en la lección 1.

El ensayo es sustancialmente el mismo que para los asfaltos diluïdos, pero se emplean distintos equipos debido a los problemas que se presentan cuando la emulsión asfáltica hace espuma al calentarse. Para las emulsiones, la temperatura final de destilación es de 260°C (500°F) y se usa un alambique de aleación de acero o aluminio y calentadores de anillo (fig. 4); mientras que para los diluïdos, la temperatura final es de 360°C (680°F), y se usa un frasco de vidrio y mechero Bunsen. Se calienta una muestra de emulsión de 200 g hasta la temperatura final, manteniéndola por 15 minutos para producir un residuo suave y homogéneo. Cuando se trata de emulsiones asfálticas catiónicas de rotura rápida y media que pueden incluir un destilado de petróleo, su cantidad máxima está limitada por las especificaciones.

Tanto el destilado como el agua se recogen en una probeta graduada, pero como ambos materiales se separan, puede determinarse la cantidad de cada uno.

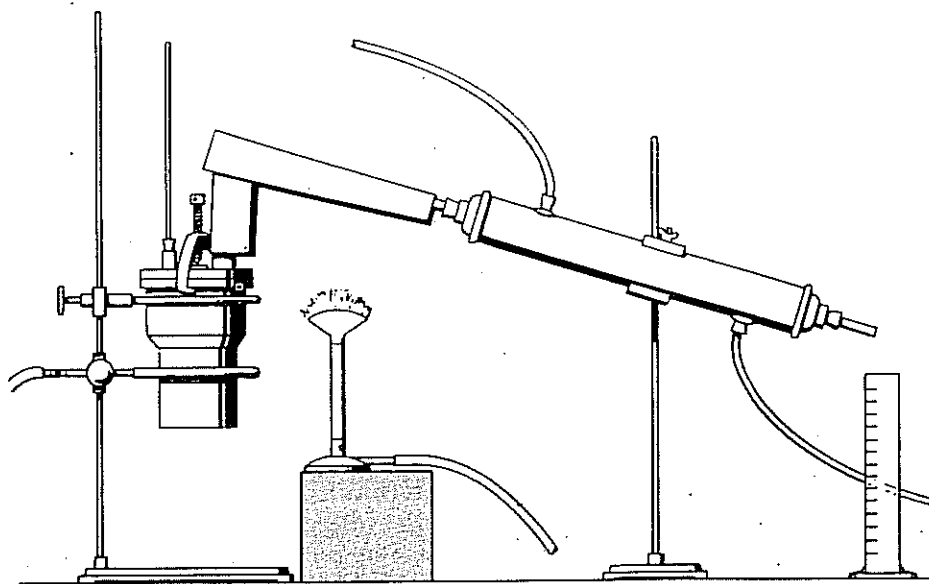


Figura 4.- Ensayo de destilación para emulsiones asfálticas.

ESPECIFICACIONES Y ENSAYOS PARA ASFALTOS DILUIDOS (CUTBACK ASPHALTS)

Especificaciones para asfaltos diluidos

Los asfaltos diluidos se clasifican según su tipo y grado. Los tipos, RC, MC y SC, indican la velocidad relativa de evaporación del solvente y los grados, 70, 250, 800 y 3000, la viscosidad cinemática mínima permitida a 60°C (140°F) en centistokes. El grado adicional MC-30 es usado en algunas regiones de Estados Unidos como un imprimador especial. El valor máximo admisible de viscosidad para cada grado es dos veces el valor mínimo permitido. Un Stoke es el cociente entre la viscosidad dinámica o absoluta (medida en poises) y la densidad, ambas a la misma temperatura.

Los grados más viscosos de los tres tipos de asfalto (RC-3000, MC-3000 y SC-3000) son sólo un poco menos viscosos que el cemento asfáltico de menor grado de viscosidad (AC-2,5). Los asfaltos diluidos de menor viscosidad (RC-70, MC-30, MC-70 y SC-70) pueden ser vertidos con facilidad a temperatura ambiente, (25°C, 77°F). Tienen la misma consistencia que la crema de leche.

TABLA 2 ENSAYOS REQUERIDOS PARA ASFALTOS DILUIDOS Y "ROAD OILS"

Ensayo	Método de Ensayo		Tipo y N° de especificación.		
			AASHTO M81 ASTM D2028	AASHTO M82 ASTM D2027	ASTM D2026
	AASHTO	ASTM	RC	MC	SC
Viscosidad cinemática	T201	D2170	X	X	X
Pto. de inflamación (T.O.C.)	T79	D1310	X	X	-----
Pto. de inflamación (C.O.C.)	T48	D92	-----	-----	X
Destilación	T78	D402	X	X	X
Penetración	T49	D5	-----	-----	-----
Ductilidad	T51	D113	X	X	X
Viscos. absoluta	T202	D2171	X	X	X
Residuo de Penetr. 100	T56	D243	-----	-----	X
Presencia de agua	T55	D95	X	X	X
Sol. en tricloroetileno	T44	D2042	X	X	X
Ensayo de la mancha ¹	T102	-----	X	X	X

¹ Requerido sólo por la AASHTO como ensayo opcional.

AASHTO y ASTM han adoptado especificaciones para los asfaltos diluidos y "road oils". Además del ensayo de viscosidad a 60°C (140°F), en la tabla 2 se enumeran los ensayos necesarios y el método apropiado según AASHTO y ASTM para determinar las propiedades específicas de estos productos. Algunos de los ensayos necesarios para los asfaltos RC, MC, y SC, son los mismos ya vistos para los cementos asfálticos. Por lo tanto, a pesar de que hay diferencias en los métodos, no se van a describir nuevamente. A continuación se hace un breve resumen de los otros ensayos.

Ensayo de viscosidad cinemática

Para clasificar los asfaltos diluidos tipo RC, MC, y SC en grados normalizados, se usa el ensayo de viscosidad cinemática. El proceso es similar al descrito para cementos asfálticos, pero mientras que para éstos se hace a 135°C (275°F) y se necesita aceite para el baño termostático controlado, los diluidos se ensayan a 60°C (140°F), con agua en el baño. También se hace el ensayo de viscosidad cinemática a 60°C (140°F) sobre el residuo de la destilación de los asfaltos SC. Se realiza como ya se ha visto, excepto por algunas diferencias en la preparación de la muestra, para prevenir el escape de volátiles, principalmente.

(74)

Ensayo de punto de inflamación

El objetivo y significado del ensayo de punto de inflamación son los mismos que los ya vistos para el cemento asfáltico. En los materiales SC se usa el "vaso abierto de Cleveland", ya visto en la lección 1; para los RC y MC, el ensayo es sustancialmente el mismo salvo que se usa calor indirecto por la naturaleza volátil de los diluyentes. Se realiza con el "vaso abierto de Tag" (Fig. 5), en que el vaso es de vidrio y no de metal y se calienta en un baño de agua y no a la llama directa.

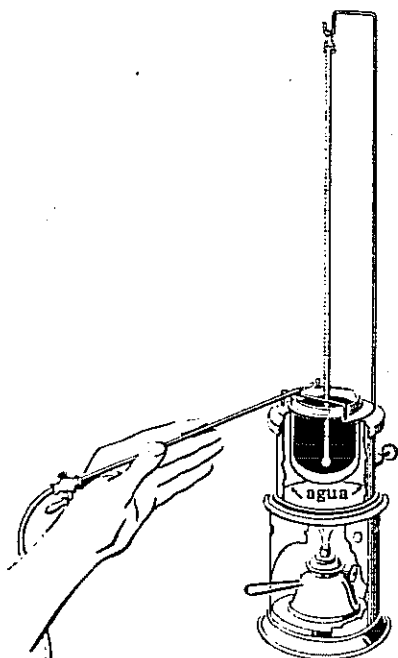


Figura 5.- Ensayo "vaso abierto de Tag"

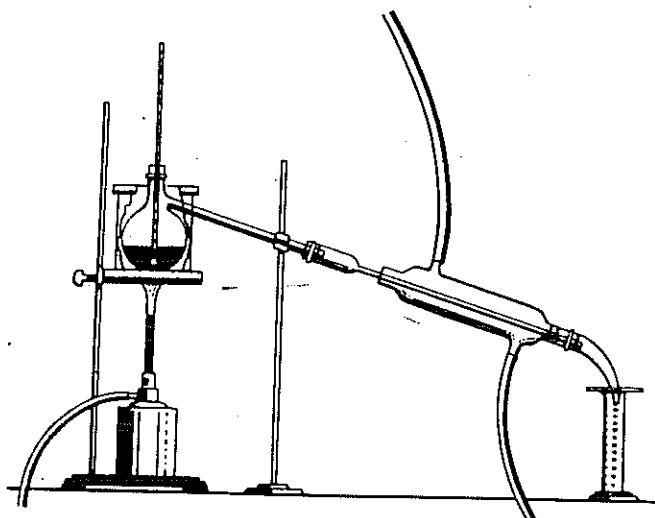


Figura 6.- Ensayo de destilación para asfaltos diluidos.

En general, las temperaturas de uso de los asfaltos diluidos está por encima del punto de inflamación. La temperatura de inflamación de los de curado rápido puede ser tan baja como 27°C (80°F). Cuanto más volátil es el solvente del asfalto diluido, más riesgoso es su uso. Todos estos materiales presentan cierto peligro durante su uso, por lo que deben ser manejados con precaución.

Ensayo de destilación

Para el uso y ejecución de los asfaltos diluidos RC, MC y en algunos casos SC, mezclas de cemento asfáltico y diluyentes, las propiedades de los mismos son de mucha importancia.

Con el ensayo de destilación (fig. 6) se separan el cemento asfáltico y el diluyente para determinar su cantidad e identificarlos. Se ponen 200 ml de asfalto diluido en un matraz de destilación conectado a un tubo condensador refrigerado con agua. El diluyente se va evaporando a medida que se calienta lentamente el frasco y, en el tubo condensador, se transforma nuevamente en líquido. Esta condensación es recogida en un tubo graduado, con lo cual se puede determinar la cantidad de condensado formado a distintas temperaturas normalizadas. Este es un indicador de las características de volatilidad del diluyente. Se considera que el material remanente en el frasco de destilación al llegar a los 360°C (680°F) es cemento asfáltico. Luego se determinan la penetración, ductilidad y solubilidad del residuo de los asfaltos diluidos RC y MC, como ya se vió para los cementos asfálticos.

Tratándose de asfaltos diluïdos SC, no interesa mucho la cantidad de diluyente evaporado a las distintas temperaturas, porque como son de naturaleza aceitosos, su evaporación en servicio es muy lenta. Por lo tanto se mide sólo la cantidad total destilada a los 360°C (680°F). Se considera que el residuo de la destilación a esta temperatura es representativo de la porción asfalto. Se determina su viscosidad mediante el ensayo de viscosidad cinemática.

El ensayo de solubilidad, que también se hace a los asfaltos diluïdos SC, se realiza con el material original y no sobre el residuo de destilación.

Ensayo asfalto residual de penetración 100

Este ensayo, que se hace sólo en los SC, es el de menor significado, para el usuario de todos los que normalmente se realizan, porque el curado en servicio de este asfalto es muy lento y por lo tanto puede o no llegar a un valor de penetración 100 durante su vida de servicio. Su importancia reside en que permite obtener un residuo sobre el que se hacen los ensayos normales para cementos asfálticos.

Este ensayo consiste en calentar una muestra de asfalto diluïdo SC entre 249 y 260°C (480 a 500°F) y mantener esta temperatura hasta que alcance una penetración de 100. Se determina la cantidad de asfalto residual que quedó, pesándola. Se le hace luego un ensayo de ductilidad a 25°C (77°F), como el descrito para cementos asfálticos.

Ensayo de agua

Los materiales asfálticos, excepto las emulsiones, no deben tener nada de agua, o casi nada, principalmente porque produce espuma cuando se calienta el material, lo que es riesgoso.

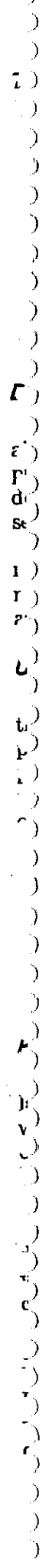
Para determinar la cantidad de agua, si la hay, en los asfaltos diluïdos, se vuelca un determinado volumen de asfalto en una retorta de vidrio o metal y se lo mezcla perfectamente con nafta de alto punto de ebullición o con xilol. Se adiciona a la retorta un condensador de reflujo que descarga en un colector graduado. Al calentarlo, si hay agua, se junta en el colector. Se calcula el porcentaje de agua por volumen.

LECCION 3

ASFALTOS SOPLADOS

Objetivo: Descripción, propiedades y especificaciones de los asfaltos soplados.

INTRODUCCION	B 31
Descripción.....	B 31
Usos	B 31
PROPIEDADES Y ENSAYOS	B 31
Propiedades y especificaciones	B 31
Ensayo de punto de ablandamiento.....	B 32
Ensayo de penetración	B 32
Ensayo de pérdida por calentamiento	B 32
Solubilidad en bisulfuro de carbono	B 33
Contenido de cenizas.....	B 34
Ensayo de partículas gruesas.....	B 34



LECCION 3**ASFALTOS SOPLADOS****INTRODUCCION****Descripción**

El asfalto puede adquirir propiedades especiales si a la fracción reducida del crudo se le insufla aire en la etapa final del proceso de refinación. Se corta el proceso de destilación normal en algún punto, cuando el crudo reducido está todavía líquido. Se pone la fracción pesada en un convertidor y se le insufla aire para que se oxide, mientras se la mantiene a alta temperatura. Este proceso se continúa hasta que el asfalto adquiera las propiedades deseadas.

Una de las propiedades más importantes de este asfalto es la elevación del punto de ablandamiento, temperatura a la cual el asfalto se ablanda. El asfalto mantiene su impermeabilidad y durabilidad aún a esta temperatura, pero su ductilidad es menor, comparada con la de los cementos asfálticos para pavimentos.

Usos

Los asfaltos soplados u oxidados tienen una gran variedad de usos industriales y especiales, entre ellos: distintas aplicaciones en techados, revestimiento asfáltico de tuberías, sub sellado asfáltico para rellenar cavidades debajo de pavimentos de hormigón de cemento Portland y membranas impermeables en canales y embalses de agua. Pueden emplearse puros o mezclados con polvos finos minerales (fillers) antes de su aplicación. Sólo raras veces se los usa en mezclas asfalto-agregado, como a los cementos asfálticos de pavimentación.

PROPIEDADES Y ENSAYOS**Propiedades y especificaciones**

Del proceso de soplado se obtienen materiales que, aunque son similares en muchos aspectos a las clases normales de cemento asfáltico para pavimentación, se ablandan a temperaturas más elevadas. Se los clasifica en términos del ensayo de punto de ablandamiento de anillo y esfera, y no en función de la viscosidad y la penetración, porque esta propiedad es la más importante y deseable de los asfaltos soplados.

A pesar de que la clasificación de los asfaltos soplados se basa en el punto de ablandamiento, se deben también hacer ensayos de penetración a tres temperaturas, 0°C, 25°C, y 46°C (32°F, 77°F, y 115°F) para poder controlar la susceptibilidad térmica o el rango de variación de la consistencia con la temperatura.

AASHTO y ASTM han adoptado especificaciones para usos especializados. Aunque a los asfaltos soplados no se los llame generalmente por su nombre, para que un asfalto pueda cumplir con los requerimientos de las especificaciones es necesario que haya pasado por un proceso de soplado. En la tabla 1 se encuentra una lista de los ensayos necesarios y el método a seguir según AASHTO y ASTM para cumplir con estas especificaciones. A continuación se los describe someramente, excepto aquellos ya discutidos en la lección 1 para cementos asfálticos.

TABLA 1 ENSAYOS REQUERIDOS PARA ALGUNOS CEMENTOS ASFALTICOS SOPLADOS

Ensayo	Método de ensayo		Especificación y propósito		
			AASHTO M238 ASTM D3141	AASHTO M115 ASTM D449	AASHTO M239 ASTM D2521
	AASHTO	ASTM	Sub-Sellado HCP*	Protector de agua y humedad	Membranas Revestimiento
Pto. de ablandamiento	T53	D2398	x	x	x
Pto. de ablandamiento	.....	D36	x	.....	.....
Pto. de inflamación (C.O.C.)	T48	D92	x	x	x
Penetración	T49	D5	x	x	x
Ductilidad	T51	D113	x	x	x
Pérdida por calentamiento	T47	D6	x	x	x
Solubilidad	T44	D2042	x	x	x
Solub. en bisulfuro de Carbono	.....	D4	.....	x ¹	x
Cenizas	.....	D3176	.....	x	.....
Partículas gruesas ¹	.....	D313	.....	x	.....

¹ Exigido sólo por ASTM

Ensayo de punto de ablandamiento

Para medir la consistencia de los asfaltos sopladados y poder clasificarlos, se usa básicamente el ensayo de punto de ablandamiento. En la figura 1 se muestra el aparato de ensayo.

Se colocan las muestras de asfalto en anillos de bronce, suspendidos en un recipiente con agua, glicerina o glicol etileno, a 25 mm (1 pulgada) sobre un plato metálico, y se los carga con bolas de acero. A medida que se calienta el líquido con cierta velocidad especificada, el asfalto se ablanda. Las bolas y el asfalto van descendiendo gradualmente. La temperatura en el momento en que el asfalto toca el plato, es el punto de ablandamiento en el ensayo de anillo y esfera (RB)** del asfalto.

Ensayos de penetración

Los ensayos de penetración, según las especificaciones, deben realizarse a:

- 0°C (32°F) con aguja de 200 g, durante 60 segundos.
- 25°C (77°F) con aguja de 100 g, durante 5 segundos.
- 46°C (115°F) con aguja de 50 g, durante 5 segundos.

El método de ensayo es el mismo descrito en la lección 1, salvo los cambios mencionados anteriormente.

Ensayo de pérdida por calentamiento

Este ensayo es muy similar al ensayo de película delgada en horno descrito para los cementos asfálticos. Las diferencias están únicamente en las dimensiones de la muestra de asfalto que para el TFO son 140 mm (5 1/2 pulgadas) de diámetro y 3 mm (1/8 pulgada) de espesor, y para este ensayo 55 mm (2,2 pulgadas) de diámetro y 35 mm (1,4 pulgadas) de espesor, aproximadamente. En ambos ensayos se coloca el recipiente que contiene al asfalto sobre un soporte giratorio de un horno ventilado y se lo mantiene por 5 horas a 163°C (325°F). La velocidad de rotación es aproximadamente 5 ó 6 revoluciones por minuto.

Este ensayo como el TFO, no es realmente un ensayo en sí mismo, sino un procedimiento para someter al asfalto a condiciones severas de endurecimiento similares a las que va a tener durante su aplicación. Después de este ensayo, generalmente se le hace al asfalto otro ensayo de penetración para comparar las penetraciones antes y después del calentamiento.

* Hormigón de Cemento Portland
** Ring and Ball, Anillo y esfera.

80

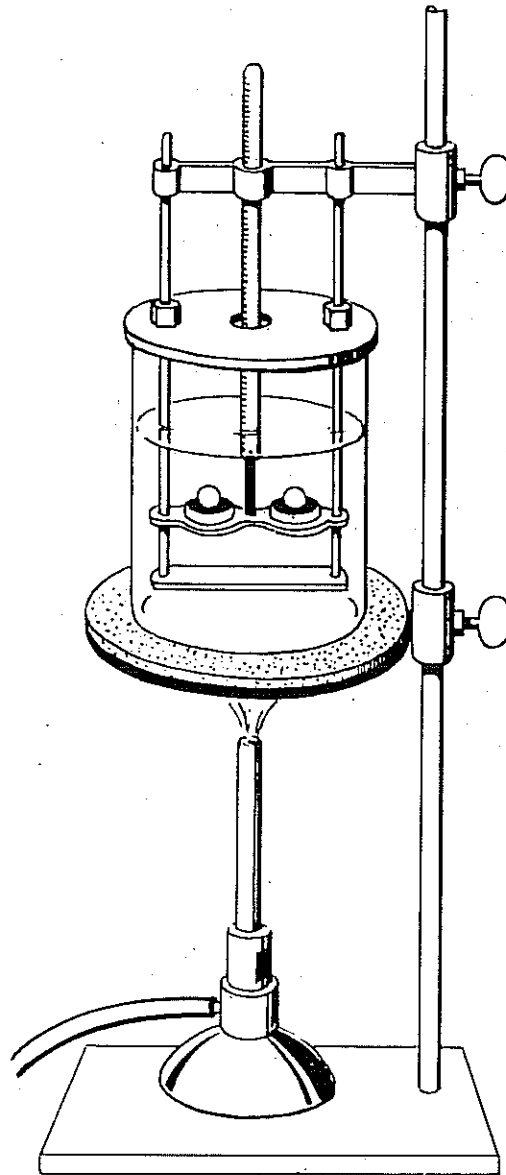


Figura 1.- Ensayo de punto de ablandamiento.

Solubilidad en bisulfuro de carbono

Puede especificarse este ensayo en lugar de un ensayo de solubilidad en uno de los otros solventes o realizarse además de ellos.

Se disuelven 2 g de asfalto y 0,5 g de tierra diatomácea preparada, en bisulfuro de carbono. Se vuelca esta solución a través de un crisol Gooch con una capa de asbestos y se ayuda al filtrado aplicando una succión ligera. Luego de limpiar el sedimento con bisulfuro de carbono limpio, se hace evaporar el solvente del crisol y se determina la cantidad de residuo.

Para ello, se coloca lo filtrado en un plato de evaporación para eliminar el solvente, dejándolo arder hasta que el residuo deje de ser negro. Se determina la cantidad de residuo y se usa el peso neto de la materia insoluble (sin la tierra diatomácea) para determinar la solubilidad en bisulfuro de carbono.

LECCION 4**USOS DE LOS ASFALTOS Y VERIFICACION
DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y RIEGO****INTRODUCCION**

Una de las características y ventajas más salientes del asfalto como material para la construcción y mantenimiento de obras de ingeniería, es su gran versatilidad. Dado que es posible su utilización en muchos tipos y grados, se lo puede usar efectivamente con agregados locales variados. También es dable el empleo de máquinas viales comunmente disponibles, tanto para la construcción como para el mantenimiento de pavimentos asfálticos.

USOS COMUNES DEL ASFALTO

La tabla 1 muestra los usos más comunes de los distintos tipos y grados de asfalto.

VERIFICACION DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y RIEGO***Generalidades***

El asfalto es un material termoplástico cuya viscosidad disminuye con el aumento de la temperatura. Sin embargo, la relación entre la temperatura y la viscosidad puede no ser la misma para materiales asfálticos de distintas fuentes o de distintos tipos y grados.

Temperatura de mezclado

La temperatura de una mezcla asfáltica en planta y en caliente, depende de los requerimientos de su distribución y compactación. Se debe usar la mínima temperatura que dé tiempo para su transporte, distribución y compactación, teniendo en cuenta, sin embargo que no debe exceder nunca los 175°C (350°F).

El asfalto y el agregado deben calentarse antes de combinarse en la mezcladora - El asfalto, para que sea lo suficientemente fluido para bombearlo, y el agregado, para secarlo y que tenga la temperatura suficiente para mantener al asfalto fluido mientras recubre las partículas. En la mezcladora, el grado de calentamiento del agregado seco controla la temperatura de la mezcla asfalto-agregado, porque la temperatura del cemento asfáltico se ajusta en seguida a la del agregado cuando se están mezclando.

Tratándose de mezclas de emulsión asfáltica-agregados y asfaltos diluídos MC y SC-agregados las temperaturas son mucho menores que las necesarias para las mezclas asfálticas en planta y en caliente. La experiencia ha demostrado que estas temperaturas de mezclado más bajas son satisfactorias, a pesar de que los agregados no estén bien secos.

En las tablas 2 y 3 se dan los limites típicos de temperatura para el mezclado en la mezcladora.

Temperatura de riego

La máxima temperatura para regar debe ser aquella para la cual no se produce niebla cuando el asfalto deja la tobera o pico de distribución. En las tablas 2 y 3 se muestran límites típicos de estas temperaturas para emulsiones asfálticas.

Para regar cementos asfálticos y los asfaltos diluidos, las temperaturas más críticas son las bajas. Por lo tanto en las tablas 2 y 3 se muestran las temperaturas mínimas para este tipo de asfaltos.

TABLA 2 TEMPERATURAS TÍPICAS PARA USOS DEL ASFALTO (EN GRADOS C)

Tipos y grados de asfaltos	Temperatura en la mezcladora ¹		Temperatura de riego ²	
	Mezcla densa	Mezcla abierta	Mezcla en sitio	Tratamiento Superficial
Cementos asfálticos				
AC-2.5	115-140	80-120	—	130+
AC-5	120-145	80-120	—	140+
AC-10	120-155	80-120	—	140+
AC-20	130-165	80-120	—	145+
AC-40	130-170	80-120	—	150+
AR-1000	105-135	80-120	—	135+
AR-2000	135-165	80-120	—	140+
AR-4000	135-165	80-120	—	145+
AR-8000	135-165	80-120	—	145+
AR-16000	150-175	80-120	—	—
200-300 pen.	115-150	80-120	—	130+
120-150 pen.	120-155	80-120	—	130+
85-100 pen.	120-165	80-120	—	140+
60-70 pen.	130-170	80-120	—	145+
40-50 pen.	130-175	80-120	—	150+
Emulsiones asfálticas				
RS-1	—	—	—	20-60
RS-2	—	—	—	50-80
MS-1	10-70 ³	—	20-70	20-70
MS-2	10-70 ³	—	20-70	—
MS-2h	10-70 ³	—	20-70	—
HFMS-1	10-70 ³	—	20-70	20-70
HFMS-1h	10-70 ³	—	20-70	—
HFMS-2h	10-70 ³	—	20-70	—
HFMS-2s	10-70 ³	—	20-70	—
SS-1	10-70 ³	—	20-70	—
SS-1h	10-70 ³	—	20-70	—
CRS-1	—	—	—	20-60
CRS-2	—	—	—	50-80
CMS-2	10-70 ³	—	20-70	—
CMS-2h	10-70 ³	—	20-70	—
CSS-1	10-70 ³	—	20-70	—
CSS-1h	10-70 ³	—	20-70	—
Asfaltos diluidos (RC, MC, SC)²				
30 (sólo MC)	—	—	—	30+
70	—	—	20+	50+
250	55-80 ³	—	40+	75+
800	75-100 ³	—	55+	95+
3000	80-115 ³	—	—	100+

NOTAS: Las conversiones de °F a °C se redondearon en 5°C aproximadamente

Las temperaturas para cementos asfálticos y asfaltos diluidos son sólo guías.

¹ Temperatura de la mezcla inmediatamente después de la descarga desde la mezcladora, más correcta que la temperatura del cemento asfáltico o del asfalto diluido.

² La temperatura de aplicación puede estar, en algunos casos, por encima del punto de inflamación de material, por lo tanto deben extremarse las precauciones para evitar el fuego o una explosión.

³ Las clases de curado rápido (RC) no se recomiendan para mezclado en caliente en la mezcladora.

⁴ Temperatura de la emulsión asfáltica en el mezclado en la mezcladora.

⁵ La temperatura máxima (cemento asfáltico y asfalto diluido) debe estar por debajo de aquella que produce niebla durante la distribución.

(87)

TABLA 3 TEMPERATURAS TIPICAS PARA USOS DEL ASFALTO (EN GRADOS F)

Tipos y grados de asfaltos	Temperatura en mezcladora ¹		Temperatura de pulverización ⁵	
	Mezcla densa	Mezcla abierta	Mezcla en sitio	Tratamiento Superficial
Cementos asfálticos				
AC-2.5	235-280	180-250	—	270+
AC-5	250-295	180-250	—	280+
AC-10	250-315	180-250	—	280+
AC-20	265-330	180-250	—	295+
AC-40	270-340	180-250	—	300+
AR-1000	225-275	180-250	—	275+
AR-2000	275-325	180-250	—	285+
AR-4000	275-325	180-250	—	290+
AR-8000	275-325	180-250	—	295+
AR-16000	300-350	180-250	—	—
200-300 pen.	235-305	180-250	—	265+
120-150 pen.	245-310	180-250	—	270+
85-100 pen.	250-325	180-250	—	280+
60-70 pen.	265-335	180-250	—	295+
40-50 pen.	270-350	180-250	—	300+
Emulsiones asfálticas				
RS-1	—	—	—	70-140
RS-2	—	—	—	125-175
MS-1	50-160 ⁴	—	70-160	70-160
MS-2	50-160 ⁴	—	70-160	—
MS-2h	50-160 ⁴	—	70-160	—
HFMS-1	50-160 ⁴	—	70-160	70-160
HFMS-1h	50-160 ⁴	—	70-160	—
HFMS-2h	50-160 ⁴	—	70-160	—
HFMS-2s	50-160 ⁴	—	70-160	—
SS-1	50-160 ⁴	—	70-160	—
SS-1h	50-160 ⁴	—	70-160	—
CRS-1	—	—	—	70-140
CRS-2	—	—	—	125-175
CMS-2	50-160 ⁴	—	70-160	—
CMS-2h	50-160 ⁴	—	70-160	—
CSS-1	50-160 ⁴	—	70-160	—
CSS-1h	50-160 ⁴	—	70-160	—
Asfaltos diluidos (RC, MC, SC)²				
30 (solo MC)	—	—	—	80+
70	—	—	65+	120+
250	135-175 ³	—	105+	165+
800	165-210 ³	—	135+	200+
3000	180-240 ³	—	—	230+

NOTAS: Las temperaturas para cementos asfálticos y asfaltos diluidos son solo guías.

1. Temperatura de la mezcla inmediatamente después de la descarga desde la mezcladora, más correcta que la temperatura del cemento asfáltico o del asfalto diluido.

2. La temperatura de aplicación, puede estar, en algunos casos, por encima del punto de inflamación del material, por lo tanto, deben extremarse las precauciones para evitar el fuego o una explosión.

3. Las clases de curado rápido (RC) no se recomiendan para mezclado en caliente en mezcladora.

4. Temperatura de la emulsión asfáltica en el mezclado en la mezcladora.

5. La temperatura máxima (cemento asfáltico y asfalto diluido) debe estar por debajo de aquella (que produce niebla durante la distribución).

Precauciones para mayor seguridad

Las temperaturas correspondientes a los intervalos de aplicación de los asfaltos especificados por AASHTO, ASTM y otras oficinas, están generalmente por encima del punto de inflamación mínimo para los asfaltos diluídos RC, MC y SC. Por lo tanto se deben tomar todas las precauciones necesarias en todo momento cuando se manejan asfaltos diluídos, porque pueden arder a temperaturas aún menores que las indicadas en las tablas. Estas precauciones incluyen, aunque no se limitan a ellas, las siguientes:

1. No se deben permitir chispas o llamas abiertas cercanas a estos materiales. Para calentar calderas, mezcladores, distribuidores y otros equipos diseñados y aprobados para este fin, debe aplicarse calor controlado.
2. No deben usarse llamas abiertas para inspeccionar o examinar tambores, camiones tanques u otros recipientes en los que se hubieran almacenado estos materiales.
3. Los vehículos que transportan estos materiales deben estar correctamente ventilados.
4. La supervisión del manejo de estos materiales, debe estar a cargo de personal experimentado
5. Se debe cumplir con todos los requisitos comerciales estatales e interestatales.

LECCION 5

EXTRACCION DE MUESTRAS Y RELACIONES TEMPERATURA-VOLUMEN
MEDICIONES Y CALCULOS

Objetivo: Describir técnicas de muestreo adecuadas y relaciones entre temperatura y volumen del asfalto.

EXTRACCION DE MUESTRAS. B 45

- Importancia. B 45
- Extracción de muestras de camiones tanques B 45
- Contaminación B 45
- Condiciones de los camiones tanques para cargar asfalto B 46

RELACIONES, TEMPERATURA-VOLUMEN, MEDICIONES Y CALCULOS. B 46

- Densidad (Peso específico) B 46
- Relaciones y cálculo entre temperatura y volumen B 46
- Cálculo de peso específico. B 53
- Mediciones en tanques horizontales B 53

LECCION 5

EXTRACCION DE MUESTRAS Y RELACIONES TEMPERATURA-VOLUMEN
MEDICIONES Y CALCULOS

EXTRACCION DE MUESTRAS

Importancia

Para que sea significativa, una muestra de asfalto extraída de su medio de transporte debe ser realmente representativa y manejada cuidadosamente para que no se contamine o altere de alguna manera antes de ser ensayada. En caso contrario, los resultados de los ensayos pueden mover a engaño.

Extracción de muestras de camiones tanques

El mejor modo de obtener muestras de un camión tanque, es por medio de una válvula de muestreo incorporada al mismo. Generalmente, está ubicada en la mitad inferior del mamparo final del tanque. Si se usa la válvula correctamente pueden obtenerse muestras representativas con facilidad y rapidez.

El procedimiento consiste en sólo abrir la válvula, dejar salir por lo menos un litro de material para remover cualquier otro anterior, y recién después llenar el recipiente con la muestra. Deben tomarse también ciertas precauciones para evitar la contaminación. Por ejemplo, los recipientes para tomar las muestras deben ser nuevos, limpios y secos y se los debe tapar firmemente después de obtenida la misma, quedando perfectamente sellados. No se debe sumergir el recipiente en solvente ni limpiarlo con un trapo embebido en este material. Si el recipiente ha sido chorreado sobre la superficie externa se lo restregará con un trapo seco y limpio inmediatamente después de sellado el recipiente.

Como el asfalto en la mayoría de los casos está caliente, se tomarán precauciones durante el muestreo. En este caso y cuando se sella el recipiente, se deben usar guantes, con las mangas atadas sobre los mismos y protegerse la cara. No se debe fumar. Al extraerse la muestra, debe sostenerse el recipiente con tenazas o algo similar y la persona encargada de hacerlo debe estar por encima y apartado de la válvula, en la dirección contraria al viento. Se debe extraer la muestra despacio para que el material no salpique.

Después que se ha llenado, sellado y limpiado el recipiente, se lo marca con un lápiz graso, no en la tapa sino en un costado del mismo para su identificación. Se pueden usar también etiquetas siempre que no se pierdan durante el manipuleo y transporte.

Contaminación

Es muy importante prevenir la contaminación de los productos asfálticos desde el momento que dejan la refinería hasta su completa incorporación al camino. Esta precaución debe extenderse también a las muestras y a los procedimientos para su extracción. Los ensayos realizados para verificar si cumplen con las especificaciones, realmente son significativos, si ellas son sin duda alguna representativas del material utilizado.

Las causas determinantes de la falta de cumplimiento de las especificaciones por parte de los asfaltos son numerosas, pero la contaminación es la culpable en la mayoría de los casos. Investigaciones señalan que muchas muestras fuera de especificación tienen puntos de inflamación demasiados bajos, penetraciones muy altas, viscosidades muy pequeñas o resultados erráticos en los ensayos de destilación. Todas estas fallas son típicas de contaminación tipo solvente. Por ejemplo, experien-

cias indican que 0,1 por ciento de diesel oil en un cemento asfáltico puede bajar su punto de inflación tanto como 28°C (50°F) (Ensayo de Pensky-Martens), e incrementar su penetración en 10 puntos. Esta contaminación corresponde solamente a $0,019\text{ m}^3$ en 19 m^3 de asfalto (5 gal. en 5.000 gal.), o 0,001 litro en un litro de muestra (0,03 onz en un quart), pero los efectos en las propiedades del asfalto son substanciales.

Condiciones de los camiones tanques para cargar asfalto

El transportista debe llevar un registro del material cargado últimamente, si el tanque fué limpiado con posterioridad o simplemente drenado. En caso de serle requerido, el transportista certificará que su camión tanque es apropiado para llevar el producto especificado. La Tabla 1 puede usarse como guía o lista de confrontación.

El tanque tendrá un dispositivo para medir el volumen del material transportado con exactitud, dentro del 0,5 por ciento de su capacidad, fácilmente visible. Tanto la bomba, la manguera de descarga como toda otra cañería estarán vacíos. Permitirá además, obtener una muestra representativa cuando la carga del mismo haya sido completada. Una muestra obtenida por inmersión desde la superficie del material recién trasvasado no es, por lo común, representativa.

RELACIONES TEMPERATURA-VOLUMEN, MEDICIONES Y CALCULOS

Densidad (Peso Específico)*

El asfalto tiene una densidad (peso específico) alrededor de 1,0. No se especifica valores para la densidad (peso específico), debido a que la relación temperatura-viscosidad, es algo variable según se trate de diferentes asfaltos.

Sin embargo, con frecuencia es necesario conocer exactamente su densidad (peso específico).

Por ejemplo, cuando debe calcularse el volumen del asfalto a ciertas temperaturas, con el propósito de pagos por compras, o en el proyecto de mezclas de asfaltos con agregados pétreos.

"Densidad" es la masa por unidad de volumen a 15°C (59°F), expresada en Kg/litros.

Peso específico es la relación entre el peso de un dado volumen del material con respecto al peso de igual volumen de agua, ambos a una temperatura especificada, por lo común 25°C (77°F).

Para cementos asfálticos y asfaltos diluídos viscosos, el ensayo se hace generalmente con un picnómetro. El volumen de asfalto se determina llenando parcialmente la botella con asfalto y el resto con agua. La diferencia entre el volumen de la botella y el volumen de agua necesario para llenarla es el volumen de asfalto. Para asfaltos más fluídos y emulsiones asfálticas se usa un densímetro.

Para poder indicar condiciones exactas aplicables a un asfalto con un valor de peso específico dado, se deben mostrar las temperaturas del asfalto y del agua. Por lo tanto, un peso específico a $15,6/15,6^{\circ}\text{C}$ ($60/60^{\circ}\text{F}$) indica que su determinación fue hecha con ambos materiales a $15,6^{\circ}\text{C}$ (60°F). Se puede calcular el peso específico a esta temperatura conociendo el peso específico a $25/25^{\circ}\text{C}$ ($77/77^{\circ}\text{F}$). Esto se explica más adelante.

Relaciones y Cálculos entre temperatura y volumen

Todos los líquidos y la mayoría de los sólidos sufren cambios de volumen por variación de la temperatura. Se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse. El *coeficiente de expansión* es el cambio de volumen unitario por grado de variación de la temperatura. Es un factor que cambia con las variaciones de la densidad (peso específico) del producto asfáltico.

* Medidas en unidades métricas.

**TABLA 1 GUIA DE LAS CONDICIONES DE UN CAMION TANQUE
PARA CARGA DE PRODUCTOS ASFALTICOS**

ULTIMO PRODUCTO EN EL TANQUE	PRODUCTO A CARGAR			
	Cemento asfáltico incluido asfalto Industrial	Asfaltos diluïdos	Emulsión Cationica	Emulsión Aniónica
Cemento asfáltico (incluido Asfalto Industrial)	OK para cargar	OK para cargar	Vacío hasta cantidad no medible	Vacío hasta cantidad no medible
Asfalto diluido	Vacío hasta cantidad no medible	OK para cargar	Vacío hasta cantidad no medible	Vacío hasta cantidad no medible
Emulsión Cationica	Vacío hasta cantidad no medible	Vacío hasta cantidad no medible	OK para cargar	Vacío hasta cantidad no medible
Emulsión Aniónica	Vacío hasta cantidad no medible	Vacío hasta cantidad no medible	Vacío hasta cantidad no medible	OK para cargar
Petróleo crudo y fuel oils residuales	Vacío hasta cantidad no medible	Vacío hasta cantidad no medible	Vacío hasta cantidad no medible	Vacío hasta cantidad no medible
Otros productos	Se debe limpiar el tanque	Se debe limpiar el tanque	Se debe limpiar el tanque	Se debe limpiar el tanque

Las tablas 2, 3, 4 y 5 son las únicas tablas disponibles habitualmente para corrección por temperaturas encima de los 149°C (300°F) y se las ha usado por lo menos en las tres últimas décadas. El Asphalt Institute no se hace responsable, expresa o implícitamente, de la exactitud de estas tablas.

Para los factores temperatura-volumen, se designa como Grupo O a aquellos materiales asfálticos con una densidad mayor de 0,9654 a 15°C (peso específico mayor de 0,966 a 60°F) y como Grupo I a aquellos con una densidad entre 0,8495 y 0,9653 a 15°C (peso específico entre 0,850 y 0,966 a 60°F). Se debe usar la tabla correspondiente. En la tabla 6 se dan las relaciones temperatura-volumen para las emulsiones asfálticas.

Los factores dados en las tablas se usan para convertir un volumen conocido a cierta temperatura a un volumen a 15°C o 60°F, que es el que se usa comunmente como volumen básico de referencia para los asfaltos.

TABLA 4 CORRECCIONES TEMPERATURA-VOLUMEN PARA MATERIALES ASFALTICOS, EN GRADOS C

Grupo 1 — Densidad entre 0,8495 y 0,9653 a 15°C. Referencias: t = temperatura observada M = factor para reducir el volumen a 15°C.

Table with 12 columns (t, M, t, M, t, M, t, M, t, M, t, M) and multiple rows of data values ranging from -25.0 to 14.5.

**TABLA 6 CORRECCIONES TEMPERATURA-VOLUMEN
PARA EMULSIONES ASFALTICAS**

Referencias: t = temperatura observada en grados Celsius (Fahrenheit)
M = factor para corregir los volúmenes a 15,6°C (60°F).

t °C	t °F	M*	t °C	t °F	M*	t °C	t °F	M*
10.0	50	1.00250	35.0	95	.99125	57.8	136	.98100
10.6	51	1.00225	35.6	96	.99100	58.3	137	.98075
11.1	52	1.00200	36.1	97	.99075	58.9	138	.98050
11.7	53	1.00175	36.7	98	.99050	59.4	139	.98025
12.2	54	1.00150	37.2	99	.99025	60.0	140	.98000
12.8	55	1.00125	37.8	100	.99000	60.6	141	.97975
13.3	56	1.00100	38.3	101	.98975	61.1	142	.97950
13.9	57	1.00075	38.9	102	.98950	61.7	143	.97925
14.4	58	1.00050	39.4	103	.98925	62.2	144	.97900
15.0	59	1.00025	40.0	104	.98900	62.8	145	.97875
15.6	60	1.00000	40.6	105	.98875	63.3	146	.97850
16.1	61	.99975	41.1	106	.98850	63.9	147	.97825
16.7	62	.99950	41.7	107	.98825	64.4	148	.97800
17.2	63	.99925	42.2	108	.98800	65.0	149	.97775
17.8	64	.99900	42.8	109	.98775	65.6	150	.97750
18.3	65	.99875	43.3	110	.98750	66.1	151	.97725
18.9	66	.99850	43.9	111	.98725	66.7	152	.97700
19.4	67	.99825	44.4	112	.98700	67.2	153	.97675
20.0	68	.99800	45.0	113	.98675	67.8	154	.97650
20.6	69	.99775	45.6	114	.98650	68.3	155	.97625
21.1	70	.99750	46.1	115	.98625	68.9	156	.97600
21.7	71	.99725	46.7	116	.98600	69.4	157	.97575
22.2	72	.99700	47.2	117	.98575	70.0	158	.97550
22.8	73	.99675	47.8	118	.98550	70.6	159	.97525
23.3	74	.99650	48.3	119	.98525	71.1	160	.97500
23.9	75	.99625	48.9	120	.98500	71.7	161	.97475
24.4	76	.99600	49.4	121	.98475	72.2	162	.97450
25.0	77	.99575	50.0	122	.98450	72.8	163	.97425
25.6	78	.99550	50.6	123	.98425	73.3	164	.97400
26.1	79	.99525	51.1	124	.98400	73.9	165	.97375
26.7	80	.99500	51.7	125	.98375	74.4	166	.97350
27.2	81	.99475	52.2	126	.98350	75.0	167	.97325
27.8	82	.99450	52.8	127	.98325	75.6	168	.97300
28.3	83	.99425	53.3	128	.98300	76.1	169	.97275
28.9	84	.99400	53.9	129	.98275	76.7	170	.97250
29.4	85	.99375	54.4	130	.98250	77.2	171	.97225
30.0	86	.99350	55.0	131	.98225	77.8	172	.97200
30.6	87	.99325	55.6	132	.98200	78.3	173	.97175
31.1	88	.99300	56.1	133	.98175	78.9	174	.97150
31.7	89	.99275	56.7	134	.98150	79.4	175	.97125
32.2	90	.99250	57.2	135	.98125			
32.8	91	.99225						
33.3	92	.99200						
33.9	93	.99175						
34.4	94	.99150						

$$V = V_T M_T \tag{1}$$

donde V = volumen a 15°C o 60°F.

V_T = volumen a la temperatura t dada.

M_T = factor de la tabla correspondiente (2-6)

Ejemplo

Se trata de un producto asfáltico con un peso específico de 0,985 a 15°C y su volumen, medido a 80°C, es 20.000 litros. Por lo tanto, es un material del Grupo O (tabla 3). El factor de corrección, M_T, para 80°C es 0,9597. Entonces el volumen de material a 15°C es 20.000 (0,9597) = 19.194 litros.

100

Cálculo de peso específico

La fórmula básica para obtener el peso específico de una sustancia es el cociente entre el peso en el aire de una unidad de volumen de la sustancia a cierta temperatura y el peso en aire de igual densidad, de un volumen igual de agua destilada sin gas a igual temperatura. O:

$$G_x = \frac{W_x}{V_x \gamma_w} \quad (2)$$

donde G_x = peso específico de la sustancia.

W_x = masa de una unidad de volumen de la sustancia

V_x = volumen de la sustancia

γ_w = densidad del agua

Usando la Ec. 1 se puede determinar el volumen de asfalto, que cambia con la temperatura. También el volumen (o densidad) del agua cambia con la temperatura.

Se puede calcular el peso específico del asfalto a 15,6/15,6°C (60/60°F), conocido el mismo para 25/25°C (77/77°F), aplicando la Ec. 2 para ambas temperaturas, combinando, sustituyendo correctamente la Ec. 1 y simplificando, obteniéndose:

$$G_{15,6/15,6} = \frac{G_{25/25} \gamma_{w25}}{M_{25} \gamma_{w15,6}} \quad \text{o} \quad \left(G_{60/60} = \frac{G_{77/77} \gamma_{w77}}{M_{77} \gamma_{w60}} \right) \quad (3)$$

donde γ_{w25} (γ_{77}) = densidad del agua a 25°C (77°F) = 0,9970g/ml,

$\gamma_{w15,6}$ (γ_{w60}) = densidad del agua a 15,6°C (60°F) = 0,9988g/ml,

M_{25} (M_{77}) = factor de las tablas 2, 3, 4, 5 ó 6

Suponiendo que el peso específico de un cemento asfáltico a 77/77°F es 1,003, el M , de la tabla 3, para 77°F, es 0,9941 (Grupo O). Entonces el peso específico a 60/60°F es

$$\frac{1,003 (0,9970)}{0,9941 (0,9988)} = 1,007$$

Mediciones en tanques horizontales

Muchas veces el transporte y almacenamiento de asfalto se hace en tanques en posición horizontal, por lo tanto para medir el volumen del material es necesario medir su profundidad. La tabla 7 da cantidades, expresadas como porcentaje de la capacidad total, en función de la profundidad como un porcentaje del diámetro.

Los volúmenes de asfalto se expresan generalmente en litros (galones), y la fórmula para determinar la capacidad de un tanque cilíndrico es

$$V = 785 D^2 L \quad (V = 5.88 D^2 L) \quad (4)$$

donde V = volumen en litros (galones)
 D = diámetro interior del tanque, en m (pies) y
 L = longitud interior del tanque, en m (pies).

Ejemplo

Se supone un tanque con 15.000 litros de capacidad y 2,5 m de diámetro. Si la profundidad del asfalto en el tanque es de 1,85 m., el porcentaje de profundidad ocupado por el mismo es

$$\frac{1,85 (100)}{2,5} = 74 \text{ por ciento}$$

Y según la tabla 7, el volumen de asfalto en el tanque es

$$\frac{15.000 (79,34)}{100} = 11.901 \text{ l}$$

Cuando el tanque está lleno más de la mitad, como en este ejemplo, puede ser más conveniente determinar el volumen vacío y deducirlo de la capacidad total.*Usando el ejemplo anterior, el cálculo sería:

$$15.000 - 15.000 \frac{(100 - 79,34)}{100} = 15.000 - 3.099 = 11.901 \text{ l.}$$

* Se evita introducir la regla de medición dentro del asfalto (se medirá 0,65 m.) (N. del T.)

**TABLA 7 PORCENTAJE DE CAPACIDAD PARA DISTINTAS PROFUNDIDADES
DE UN TANQUE CILINDRICO EN POSICION HORIZONTAL**

% PROF.* LLENO	% de CAPA- CIDAD	% PROF. LLENO	% de CAPA- CIDAD	% PROF. LLENO	% de CAPA- CIDAD	% PROF. LLENO	% de CAPA- CIDAD	% PROF. LLENO	% de CAPA- CIDAD	% PROF. LLENO	% de CAPA- CIDAD
1	0.17	18	12.24	35	31.19	52	52.54	69	73.59	86	91.49
2	0.48	19	13.23	36	32.41	53	53.82	70	74.77	87	92.36
3	0.87	20	14.24	37	33.65	54	55.09	71	75.93	88	93.20
4	1.34	21	15.27	38	34.87	55	56.36	72	77.08	89	94.02
5	1.87	22	16.31	39	36.11	56	57.62	73	78.22	90	94.80
6	2.45	23	17.38	40	37.35	57	58.88	74	79.34	91	95.54
7	3.08	24	18.46	41	38.60	58	60.41	75	80.45	92	96.75
8	3.75	25	19.55	42	39.86	59	61.40	76	81.54	93	96.92
9	4.46	26	20.66	43	41.12	60	62.25	77	82.62	94	97.75
10	5.20	27	21.78	44	42.38	61	63.89	78	83.69	95	98.13
11	5.98	28	22.92	45	43.64	62	65.13	79	84.73	96	98.66
12	7.01	29	24.07	46	44.91	63	66.36	80	85.76	97	99.13
13	7.64	30	25.23	47	46.18	64	67.59	81	86.77	98	99.52
14	8.51	31	26.41	48	47.46	65	68.81	82	87.76	99	99.83
15	9.41	32	27.59	49	48.72	66	70.02	83	88.73		
16	10.33	33	28.78	50	50.00	67	71.22	84	89.67		
17	11.27	34	29.98	51	51.28	68	72.41	85	90.59		

*Porcentaje con respecto al diámetro del tanque de la profundidad del material asfáltico

TEMA C

AGREGADOS MINERALES

Notas para el instructor

Las lecciones de esta sección se refieren a los agregados, los cuales constituyen la mayor parte de cualquier mezcla asfáltica para pavimentación. Ayudará al instructor en la presentación del material de esta sección, familiarizar a los estudiantes con los agregados. Una descripción de las características y propiedades de los agregados y sus fuentes, permitirá preparar a los estudiantes para cualquier eventualidad inesperada con que pudieran encontrarse,

Los procedimientos para la determinación de los pesos específicos y el proporcionado de los agregados, a fin de cumplir con los requerimientos granulométricos, deben ser entendidos por los estudiantes si ellos desean profundizar en el conocimiento de las secciones sucesivas. Sería conveniente dar a los estudiantes varios ejercicios extraídos de esta sección.

Los métodos de proporcionado de agregados descrito en este tema, están orientados a obtener soluciones satisfactorias, con un mínimo de procedimientos experimentales repetitivos. A medida que mejore la pericia de los estudiantes en la resolución de problemas, pueden ser introducidos otros métodos e innovaciones. Esto considera la habilidad de los estudiantes en confiar más y más en su juicio personal.

BIBLIOGRAFIA

1. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, MS-2. The Asphalt Institute.
2. *Cause and prevention of Stripping Asphalt Pavements*, ES-10.
3. Wallace, H.A., and Martin, J.R. *Asphalt Pavement Engineering*. McGraw-Hill, 1967.
4. Ritter, L.J., and Paquette, R.J. *Highway Engineering*. Ronald Press, 1967.
5. *Concrete and Mineral Aggregates*. Book of ASTM Standards, ASTM Part 10.
6. *Concrete and Mineral Aggregates*. Book of ASTM Standards, ASTM Part 14.
7. *Standards Specifications for Highways Materials and Methods of Sampling and Testing*. The American Association of State Highways and Transportation Officials.

LECCION 1

AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFALTICAS

Objetivo: Describir la naturaleza y fuentes de agregados y destacar aspectos de su evaluación.

INTRODUCCION	C 5
ORIGEN DE LAS ROCAS	C 5
Rocas Sedimentarias	C 5
Rocas Igneas	C 6
Rocas Metamórficas	C 6
FUENTES DE AGREGADOS	C 6
Agregados procedentes de las minas o de canteras	C 6
Agregados Procesados	C 7
Agregados Sintéticos o Artificiales	C 7
EVALUACION DE LOS AGREGADOS	C 7
Tamaño y Granulometría	C 8
Limpieza	C 8
Resistencia al desgaste	C 9
Textura Superficial	C10
Forma de la partícula	C10
Absorción	C10
Afinidad con el Asfalto	C11

LECCION 1

AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFALTICAS

INTRODUCCION

La cantidad de agregado mineral en las mezclas asfálticas para pavimentación es generalmente del 90 a 95% en peso y del 75 a 85% en volumen. Los agregados minerales son los principales responsables de la capacidad de carga del pavimento. Además el agregado influye notablemente en el comportamiento del pavimento.

Los agregados minerales han sido definidos como cualquier material inerte y duro con partículas o fragmentos graduados usado en la mezcla. Ello incluye arena, grava, piedra partida, escoria, desechos o polvos de rocas.

Existen otras definiciones del agregado mineral que generalmente reflejan el propósito para el cual el material es usado. Por ejemplo, la designación ASTM D 8 define al agregado como "un material granular de composición mineral tal como la arena, ripio, conchilla, escoria, o piedra partida, usado con un medio cementante para formar morteros o concretos o solos como capas de bases, balastos de ferrocarriles, etc.

ORIGEN DE LAS ROCAS

No es propósito de esta lección describir en detalle el origen de las rocas, de las cuales proceden los materiales denominados agregados. Sin embargo es indispensable un breve comentario ya que el conocimiento de su origen es importante para entender la producción de agregados minerales.

Las rocas están clasificadas en tres grupos generales: sedimentarias, ígneas y metamórficas. Esta clasificación indica el origen o formación de las rocas.

Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias se han formado por la acumulación de sedimentos en el agua o depositados por el viento. El sedimento puede estar constituido por rocas y fragmentos ó partículas minerales de varios tamaños (conglomerado, arenisca, pizarra); de restos o de productos animales o plantas (ciertas piedras calizas y hulla); del producto de la acción química o de la evaporación (sal yeso); o de mezclas de estos materiales. Algunos depósitos sedimentarios están constituidos por partículas despedidas por volcanes y depositadas en la tierra o en el agua. Un aspecto característico de depósitos sedimentarios es el de tener una estructura en capas. Esta estratificación es el resultado directo del sistema de formación; la deposición del material en el lecho del mar o un lago.

Tamaño y Granulometría

El tamaño máximo de un agregado es el del tamiz más reducido a través del cual pasa el 100% del material. El tamaño máximo nominal es el del tamiz de mayor abertura que retiene alguna partícula de material.

El tamaño máximo y la granulometría de los agregados son invariablemente controlados por especificaciones, las cuales prescriben la distribución por tamaño de partículas que deberá cumplir un agregado en particular. La Figura 1 muestra una especificación típica que controla el tamaño y granulometría del agregado de una capa superficial de concreto asfáltico. Los agregados son descritos a veces en base a su granulometría. Algunos ejemplos son (a) granulometría cerrada, (b) granulometría abierta, (c) tamaño uniforme, (d) granulometría gruesa, (e) granulometría fina y (f) granulometría discontinua.

Limpieza

Algunos agregados contienen ciertas sustancias extrañas o deletéreas que los hacen inadecuados para mezclas asfálticas de pavimentación, a menos que la cantidad de materias extrañas sea reducida. Las especificaciones para tales agregados normalmente contienen una sección en la cual se indica el material deletéreo y se lo limita a cantidades permitidas en el agregado. Los materiales típicos objetables son, sustancias orgánicas, esquistos, partículas livianas, terrones de arcilla y arcilla recubriendo las partículas de agregado grueso.

La limpieza del agregado frecuentemente puede ser determinada por inspección visual, pero un tamizado por vía húmeda generalmente da un valor al respecto. El ensayo de Equivalente de Arena desarrollado por la California Division of Highways y descrito en la AASHTO T 176, es un método de determinación de la proporción relativa de polvo fino no conveniente o de materiales similares a la arcilla, en la porción que pasa el tamiz de 4,75mm (Nº4). El ensayo de Equivalente de Arena se realiza de la siguiente manera:

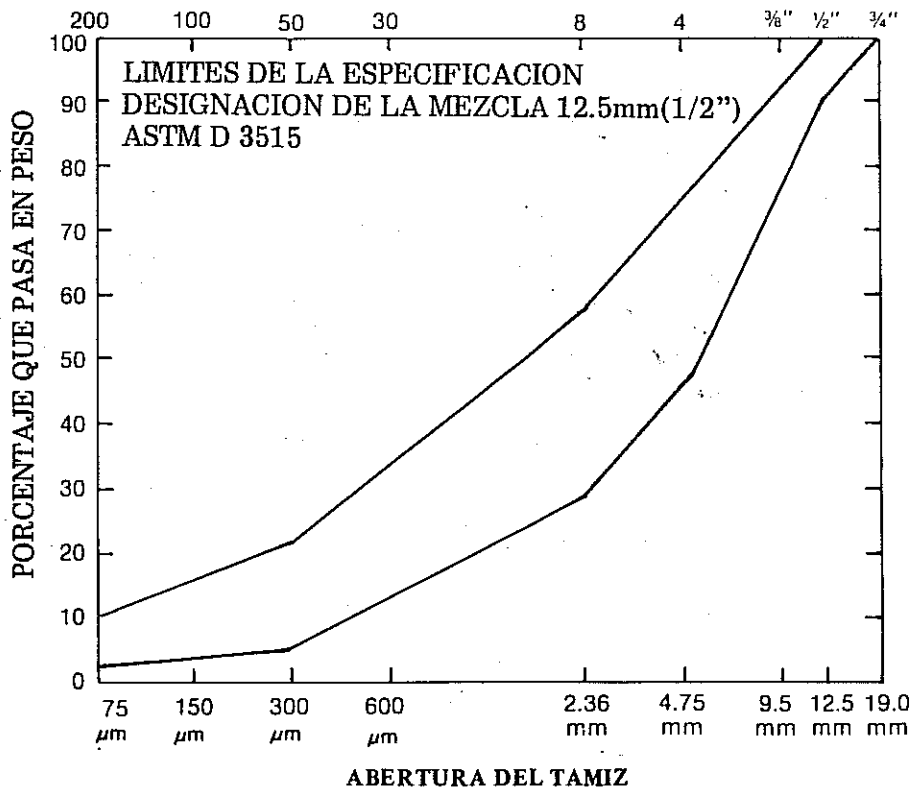


Figura 1. Curvas granulométricas de una combinación de agregados para capa superficial de concreto asfáltico

112

1. Se coloca una muestra de material en una probeta transparente y graduada, que contiene una solución acuosa de cloruro cálcico, glicerina y formaldehído.
2. La muestra con la solución se sacuden de una manera prescripta.
3. La misma solución pasada a través de un tubo irrigador, actuando bajo presión, se usa para lavar la materia arcillosa, en sentido ascendente y por fuera de la muestra a medida que el cilindro es llenado gradualmente.
4. Después de un período de asentamiento de 20 minutos, se lee el nivel superior de la suspensión arcillosa.
5. Se hace descender dentro del cilindro una base de metal con peso determinado y se le deja reposar en la cara superior de la arena limpia.
6. Se lee el nivel del extremo inferior de la base.
7. El equivalente de arena es el cociente, multiplicado por 100, de la lectura del nivel superior de arena, dividida por la lectura del nivel superior de arcilla.

Resistencia al Desgaste

El agregado pétreo está sujeto a una rotura adicional y a un desgaste por abrasión durante la elaboración, colocación y compactación de la mezcla asfáltica para pavimentación. El agregado sufre además la abrasión debido a las cargas del tránsito. Deben tener por lo tanto, en cierto grado, capacidad de resistir la trituración, degradación y desintegración. El agregado de la superficie del pavimento o cerca de ella requiere una dureza mayor que el agregado de las capas inferiores donde las cargas resultan disipadas o no son tan concentradas.

El ensayo de abrasión o desgaste "Los Angeles" mide la resistencia al uso o abrasión del agregado mineral. El equipo y procedimiento para este ensayo se detalla en AASHTO T96 y ASTM C 131. Seguidamente se da una breve descripción del método:

1. El tambor de la máquina de desgaste (Figura 2) es cargado con un peso determinado de partículas de agregado grueso con una graduación prefijada que se asemeja a la del material propuesto para ser usado.

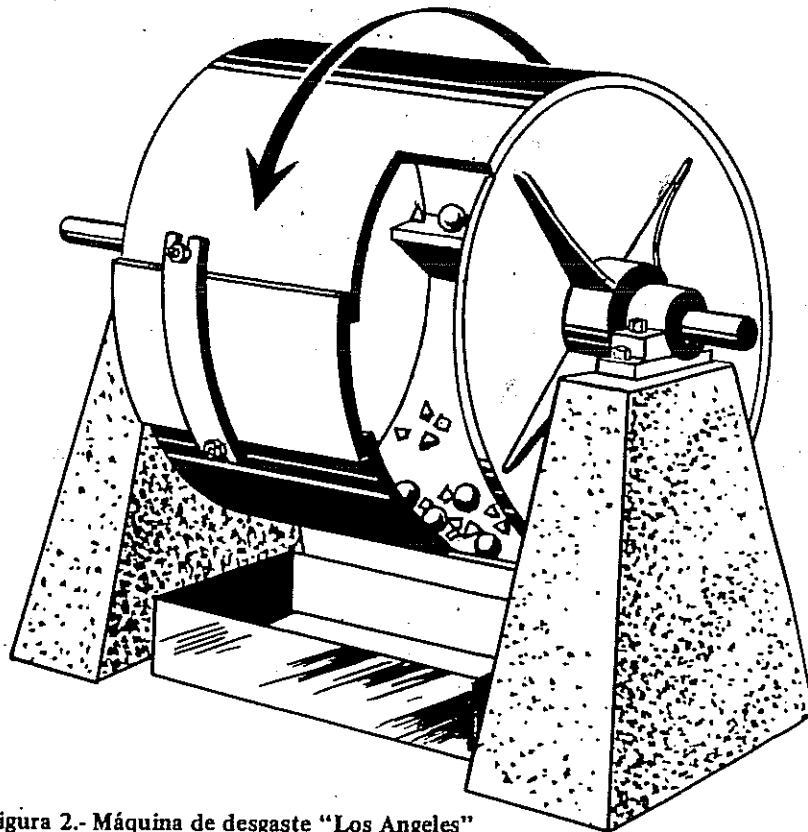


Figura 2.- Máquina de desgaste "Los Angeles"

2. Se coloca además en el tambor un peso normalizado de esferas de acero como carga abrasiva.
3. Se hace girar el tambor 500 vueltas y luego se retira el material.
4. Se realiza una separación preliminar de la muestra, por una malla de tamaño mayor que 1,70mm (Nº 12). La porción fina es pasada por el tamiz de 1,7mm (Nº 12) y el peso total del material retenido por dicho tamiz constituye el peso final.
5. Se calcula la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra, como un porcentaje del peso original del material. Este valor se registra como el porcentaje de desgaste.

Una resistencia relativamente alta al desgaste, indicada por un bajo porcentaje de pérdida por abrasión, es una característica deseable para los agregados a utilizar en capas superficiales de pavimentos asfálticos. Los agregados que tienen mayores pérdidas por abrasión, dentro de ciertos límites generalmente pueden ser usados en capas inferiores de pavimentos, donde no serán objeto de las altas tensiones causadas por el tránsito.

Textura Superficial

Al igual que la forma de las partículas, la textura superficial influye en la trabajabilidad y resistencia de las mezclas asfálticas para pavimentación. La textura superficial ha sido frecuentemente considerada más importante que la forma de las partículas del agregado. Una textura superficial rugosa, similar a la del papel de lija, opuesta a una superficie lisa, tiende a incrementar la resistencia de la mezcla y requiere un porcentaje adicional de asfalto para compensar la pérdida de trabajabilidad. Los vacíos en el agregado mineral compactado son además casi siempre mayores, lo cual provee un espacio extra para el aumento necesario de asfalto.

Las gravas naturales, tales como las de río, generalmente tienen una textura superficial, lisa y partículas de formas redondeadas. La trituración, sin embargo, produce frecuentemente una textura superficial rugosa (especialmente a lo largo de la cara fracturada) y cambia la forma de las partículas. Los agregados de superficie lisa pueden ser fácilmente recubiertos con una película de asfalto pero la película se adherirá de modo más efectivo a las superficies rugosas.

No existe un método establecido para la medición de la textura superficial pero, al igual que la forma de las partículas esta característica se refleja en ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de muchas mezclas asfálticas.

Forma de la Partícula

La forma de las partículas altera la trabajabilidad de la mezcla para pavimentación como así el esfuerzo necesario de compactación para obtener la densidad requerida. La forma de las partículas influye en la resistencia de la mezcla. Las partículas irregulares o angulosas, tales como la piedra partida y algunas gravas y arenas naturales, tienden a trabarse cuando son compactadas y a resistir el desplazamiento. Generalmente se obtiene una mejor trabazón con partículas de forma cúbica y aristas angulosas; dicha trabazón es mínima con partículas redondeadas.

Las partículas redondeadas, tales como las gravas y arenas naturales procedentes de los lechos de corrientes de agua, son usadas con éxito en mezclas asfálticas para pavimentación, especialmente las de granulometría cerrada. De cualquier modo, ya que es posible una densidad más alta con partículas de agregado redondeadas, la cantidad de asfalto es el factor crítico de las mezclas de granulometría cerrada.

Muchas mezclas asfálticas contienen partículas de agregado angulares y redondeadas. La fracción de agregado grueso es usualmente ripio o piedra triturada y el agregado fino es generalmente arena natural (partículas redondeadas). Tales mezclas usualmente confían la resistencia principalmente al agregado triturado y la trabajabilidad y compactabilidad a las partículas redondeadas de arena.

Absorción

La porosidad de un agregado se indica comunmente por la cantidad de líquido que absorbe

cuando se lo embebe en agua. Un agregado poroso absorberá asfalto, lo cual hace que una mezcla asfáltica sea seca o menos cohesiva.

En esas mezclas debe ser incorporada una cantidad extra de asfalto para satisfacer la absorción del agregado. Los agregados muy porosos tienden a requerir una cantidad significativa de asfalto extra para compensar el alto tenor de absorción. Los agregados altamente porosos no son normalmente usados, a menos que posean otras cualidades que los hagan ventajosos a pesar de su mayor absorción. La escoria de altos hornos y muchos agregados sintéticos o manufacturados son materiales livianos y altamente porosos. Pero su escaso peso y sus propiedades de resistencia preponderan sobre la consideración de su alta absorción para ser usados en la construcción de pavimentos.

Afinidad con el Asfalto

El descubrimiento —separación de la película de asfalto del agregado por acción del agua— puede hacer que un material no sea conveniente para ser usado en mezclas asfálticas de pavimentación. Tales materiales se denominan hidrofílicos (afinidad al agua). Los agregados silíceos tales como la cuarcita y algunos granitos son ejemplos de agregados que pueden requerir atención desde el punto de vista del descubrimiento.

Los agregados que exhiben un alto grado de resistencia al descubrimiento de la película asfáltica en presencia de agua, son usualmente los más convenientes en las mezclas para pavimentación. Tales agregados se denominan hidrófobos (rechazo al agua). Las piedras calizas, dolomitas y basalto son usualmente de alta resistencia al descubrimiento de la película de asfalto.

El porqué los agregados hidrófobos e hidrofílicos se comportan como lo hacen no está entendido completamente. La explicación no es tan importante como la capacidad de detectar las propiedades y evitar el uso de agregados que conducen al descubrimiento del asfalto.

Un método de ensayo para la determinación del recubrimiento y descubrimiento del asfalto-agregado en las mezclas se describe en ASTM D 1664. La mezcla sin compactar se sumerge en agua y se evalúa visualmente las partículas recubiertas. Otro ensayo, comúnmente conocido como ensayo de inmersión-compresión, se detalla en ASTM D1075 y AASHTO T 165. Se compara la resistencia de la mezcla asfáltica para pavimentación compactada, después de haber sido embebida en agua, con la resistencia de una probeta idéntica que no ha sido embebida. La reducción en resistencia es un índice de la calidad del agregado desde el punto de vista de su resistencia al descubrimiento por el agua.

Cuando se deban usar agregados no convenientes o cuestionables, frecuentemente se los puede emplear en forma satisfactoria si se alcanza una relación densidad-vacíos deseable, mediante el ajuste de la graduación y el contenido de asfalto. La granulometría del material cuestionable puede ser ajustada mediante la combinación con otros agregados. La selección del contenido de asfalto apropiado para la reducción de los vacíos, dará al pavimento compactado mayor impermeabilidad. Tales pavimentos serán resistentes a los efectos perjudiciales del agua.

Información adicional puede ser encontrada en *Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements*, ES-10, The Asphalt Institute.

LECCION 2

CALCULOS EN LOS AGREGADOS

Objetivo: Explicar el cálculo del análisis granulométrico, peso específico y área superficial de los agregados.

ANALISIS GRANULOMETRICO	C15
Términos descriptivos	C15
Muestreo	C16
Tamizado por vía seca	C17
Tamizado por vía húmeda	C17
PESO ESPECIFICO	C17
Definiciones	C17
Determinaciones en el agregado grueso	C18
Determinaciones en el agregado fino	C19
Peso específico efectivo	C20
AREA SUPERFICIAL	C20
Función	C20
Cálculos	C21

zado. Las granulometrías son comúnmente expresadas en base al porcentaje total que pasa, lo cual indica el porcentaje total en peso del agregado que pasa cada tamiz de un dado tamaño. El porcentaje total retenido es exactamente el opuesto del porcentaje total en peso retenido en el respectivo tamiz. El porcentaje que pasa menos el retenido en dos tamices sucesivos, o porcentaje individual en cada tamiz, indica el porcentaje en peso retenido en cada tamiz del análisis.

Algunos términos usados con referencia a la granulometría del agregado son:

- (a) *agregado grueso*, todo material retenido en el tamiz de 2,36mm (Nº8)
- (b) *agregado fino*, todo material que pasa por el tamiz de 2,36mm (Nº8).
- (c) *polvo*, la porción de agregado fino que pasa el tamiz de 75 μ m (Nº200).
- (d) *filler mineral*, producto a incorporar finamente dividido que pasa, al menos su 70%, por el tamiz de 75 μ m (Nº 200).

TABLA 2

**DATOS DEL ANALISIS DE TAMIZADO
TRADUCIDOS A GRADUACION DEL AGREGADO.**

	Tamaño del tamiz	Retenido en c/tamiz (grs)	Pasa en c/tamiz (grs)	Porcentaje total pasante	Porcentaje total retenido	Porcentaje Pasante - Retenido *
19.0 mm	(¾-in.)	0	1135	100	0	5
12.5 mm	(½-in.)	56	1079	95	5	15
9.5 mm	(⅜-in.)	171	908	80	20	23
4.75 mm	No. 4	262	646	57	43	18
2.36 mm	No. 8	203	443	39	61	16
600 μ m	No. 30	182	261	23	77	6
300 μ m	No. 50	68	193	17	83	5
150 μ m	No. 100	57	136	12	88	4.5
75 μ m	No. 200	51	85	7.5	92.5	7.5
Pan	Pan	85				

Total = 1135

(*) Pasa determinado tamiz, retenido en tamiz más pequeño siguiente.

Muestreo

Los resultados del análisis granulométrico de un agregado deberán reflejar por supuesto, las características de tamaño de todo el material del cual se obtuvo la muestra. El examen o ensayo se refiere sólo a la muestra en sí y no a la partida o pila de almacenamiento a menos que la muestra sea representativa del total del material. La precisión en el muestreo es tan importantes como la precisión en el ensayo.

Se debe tener un gran cuidado para obtener muestras totalmente representativas de una pila de almacenamiento de arena o de ripio. La segregación generalmente ocurre cuando el material es apilado, con partículas más gruesas que ruedan generalmente hacia la base de la pila. Se deben tomar muestras separadas a distintos niveles y localizaciones en la pila. Si se desea tomar muestra de una pila de arena normalmente es necesario remover la capa seca donde ocurre la segregación y tomarla del material húmedo interior a dicha capa.

Las muestras de agregado grueso de las pilas deben ser tomadas de la cima, de la base, o cerca de ellas, y en algunos puntos intermedios. Se debe introducir una tablilla dentro de la pila, por debajo de la zona de muestreo para prevenir una mayor segregación mientras se realiza la operación. Las muestras de agregado fino de las pilas pueden ser tomadas con un tubo de muestreo de 30 mm (1¼") de diámetro y 2m (6 pies) de longitud. Los procedimientos para el muestreo están descritos en ASTM Designación D 75 y AASHTO Designación T 2.

Tamizado por Vía Seca

Los tamizados por vía seca y vía húmeda son dos métodos para la determinación de las proporciones relativas de varios tamaños de partículas de un agregado mineral. Los procedimientos normales para la ejecución del tamizado por vía seca son dados en AASHTO C136. Dicho procedimiento se sintetiza de la siguiente manera:

1. Se preparan las muestras para el análisis mediante métodos de cuarteo o mediante un aparato reductor de muestras. Las muestras de agregado fino reducidas por cuarteo son mezcladas primero en condición húmeda.
2. Los agregados que contienen material fino y grueso son separados en dos tamaños mediante el tamiz de 4,75mm (Nº4).
3. Las muestras se secan hasta obtener peso uniforme.
4. Se tamizan separadamente las muestras, usando un procedimiento normalizado.
5. Se pesa cada fracción tamizada y se determina el porcentaje de cada una de ellas; el total constituye la granulometría de la muestra. En casos donde son procesadas fracciones finas y gruesas y ellas representan una única muestra, las dos granulometrías son combinadas en base al porcentaje que pasa el tamiz de 4,75mm (Nº4). El procedimiento se explica en detalle más adelante.

Tamizado por Vía Húmeda

El tamizado por vía seca es por sí solo satisfactorio para un ensayo de rutina, de agregados normalmente graduados. Cuando el agregado contiene arcilla o polvo extremadamente fino, que puede quedar adherido a las partículas de agregado grueso, se debe realizar un ensayo por vía húmeda. Este procedimiento está detallado en AASHTO T 11 y ASTM C117. Las muestras se preparan de la misma manera que para el tamizado por vía seca, pero antes del cribado se realizan los siguientes pasos:

1. Se determina el peso de la muestra después de su secado hasta peso constante.
2. Se coloca la muestra en un recipiente y se lo recubre con agua que contenga un agente humectante.
3. El contenido del recipiente es agitado vigorosamente, y se vierte el agua de lavado sobre los tamices apilados.
4. La operación se repite hasta que el agua de lavado sea clara.
5. El material retenido en los tamices se reintegra al recipiente con la muestra lavada y el total se seca hasta peso constante.
6. Se pesa este material y la diferencia con el peso original es el material perdido, más fino que el tamiz de 75 μ m (Nº200).
7. La muestra lavada es tamizada con el mismo procedimiento utilizado por vía seca.
8. Los pesos son convertidos en porcentajes, teniendo presente que el peso seco original, antes de ser lavado, es el peso a considerar como 100%.

PESO ESPECIFICO

Definiciones

El peso específico de un agregado es el cociente entre el peso de un volumen unitario de material y el peso de igual volumen de agua a temperatura entre 20 y 25°C (68 y 77°F). Existen tres tipos aceptados de pesos específicos de los agregados, los que dependen de la definición de volumen de la partícula:

5. Se coloca en un matraz de 500 grs. la muestra en condición saturada con superficie seca. Se llena luego el matraz con agua, usando un procedimiento normalizado, y se pesa.

6. Se saca el agregado fino del matraz, se seca en estufa hasta peso constante, y se pesa.

7. Admitiendo que:

A = peso de la muestra secada en estufa, en grs,

V = volumen en ml del matraz, y

W = peso o volumen de agua, en ml, añadida al matraz con el agregado

entonces

$$\text{Peso específico aparente, } G_{sa} = \frac{A}{(V-W) - (500-A)} \quad (4)$$

$$\text{Peso específico bruto, } G_{sb} = \frac{A}{V-W} \quad (5)$$

$$\text{Absorción} = \frac{(500-A) 100}{A} \quad (6)$$

Peso Específico Efectivo

El procedimiento para la determinación del peso específico efectivo no está normalizado por AASHTO o ASTM. No obstante, los valores obtenidos para la determinación del peso específico máximo de las mezclas asfálticas (ASTM D 2041) pueden ser usados en la realización de los cálculos.

La tarea comprende la mezcla de una cantidad conocida de agregado y de asfalto, usando procedimientos aceptados de mezclado. Después que la mezcla se ha enfriado se determina el volumen absoluto del material mediante el peso de la mezcla primero en aire, luego sumergida y el posterior registro de su diferencia.

Se descuenta el volumen de asfalto y el valor que resulta constituye el volumen de los agregados. Básicamente la fórmula es:

$$G_{se} = \frac{W_{mm} - W_b}{V_{mm} - V_b} \quad (7)$$

donde

- G_{se} = peso específico efectivo,
- W_{mm} = peso de la muestra suelta
- V_{mm} = volumen de la mezcla suelta
- W_b = peso del asfalto en la mezcla, y
- V_b = volumen del asfalto en la mezcla.

El procedimiento está tratado con mayor detalle en los cálculos para el diseño de mezclas asfálticas

AREA SUPERFICIAL

Función

Cuando se proyecta una mezcla asfáltica para pavimentación usando el método Hveem para esta-

blecer el contenido de asfalto se encuentra un punto de partida mediante la determinación del área superficial. La teoría del área superficial puede ser expresada como:

$$\% \text{ asfalto} = 100 A t \gamma_b$$

donde

A = área superficial del agregado, en m^2/kg ($pies^2/lb$)

t = espesor de la película de asfalto, en m ($pies$), y

γ_b = peso unitario del asfalto, en kg/m^3 (lb/pie^3).

Cálculos

El método Hveem para diseño de laboratorio de mezclas asfálticas para pavimentación (descrito en sección D) usa la teoría del área superficial para seleccionar el contenido de asfalto como un punto de partida de una serie de ensayos. El área superficial se determina multiplicando los porcentajes de material que pasan por una serie de tamices establecidos, por una serie de factores de áreas superficiales y sumando los productos. La Figura 2 muestra como se determina el área superficial de un agregado dado cuando su granulometría es conocida. Es importante destacar que todos los tamaños de los tamices indicados deben ser usados en este método.

Abertura del tamiz	Porcentaje que pasa	Factor de área superficial $m^2/kg(pie^2/lb)$	= Área Superficial $m^2/kg(pie^2/l)$
19.0 mm (¾ in.)	100	}	.41 (2.0)
12.5 mm (½ in.)	95		
9.5 mm (⅜ in.)	80		
4.75 mm (No. 4)	57	.41 (2)	.23 (1.1)
2.36 mm (No. 8)	39	.82 (4)	.32 (1.6)
1.18 mm (No. 16)	31	1.64 (8)	.51 (2.5)
600 μm (No. 30)	23	2.87 (14)	.66 (3.2)
300 μm (No. 50)	17	6.14 (30)	1.04 (5.1)
150 μm (No. 100)	12	12.29 (60)	1.47 (7.2)
75 μm (No. 200)	7.5	32.77 (160)	2.46 (12.0)

$\Sigma 7.1 (34.7)$

* Área superficial del agregado que supera 4,75mm (N^o 4) = 0.41(20)

Figura 2. Cálculo del área superficial

LECCION 3

COMBINACION DE AGREGADOS DE DISTINTAS GRANULOMETRIAS

Objetivo: Explicar como se dosifican los agregados para obtener una granulometría deseada al combinarlos.

INTRODUCCION	C25
Justificación de la dosificación granulométrica	C25
Fórmula básica	C25
Soluciones gráficas	C25
DETERMINACION DE LAS PROPORCIONES	C26
Combinacion de dos agregados	C26
Combinación de tres agregados	C28
AJUSTES DE LA GRANULOMETRIA	C31
Ajuste por pesos específicos distintos	C31
Ajuste por eliminación	C32

DETERMINACION DE LAS PROPORCIONES

Combinación de dos Agregados

La fórmula básica (1) para combinar dos agregados es

$$P = Aa + Bb \quad (2)$$

Como $a + b = 1$, luego $a = 1 - b$. Sustituyendo esto en (2) y despejando b :

$$b = \frac{P - A}{B - A} \quad (3)$$

Se puede encontrar para una expresión similar:

$$a = \frac{P - B}{A - B} \quad (4)$$

Para lograr los requerimientos granulométricos de una mezcla asfáltica para pavimentación, se supone que deben combinarse un agregado grueso con arena. Estos agregados están indicados en la Figura 1a como materiales A y B. Para hacer una determinación se debe proceder como sigue:

1. Examinar las dos granulometrías para establecer qué agregado va a contribuir con la mayor parte del material para determinados tamaños. En el caso indicado, la mayor parte de material menor de 2,36mm (Nº8) lo va a aportar el agregado B.

2. Tomando los porcentajes del tamiz de 2,36mm (Nº8) y sustituyéndolos en (3) se determinan las proporciones, observándose si se encuentran en el punto medio de la especificación (Figura 1b).

3. La granulometría combinada muestra un porcentaje que pasa los 75 μm (Nº200) cercano al límite inferior de la especificación. Se debe aumentar entonces la proporción de agregado B (probar con 0,55) y recalcular la granulometría de la combinación corregida (Figura 1c).

4. En este caso la graduación es crítica en el tamiz de 600 μm (Nº30). Reducir entonces la proporción de agregado B a 0,52 o 0,53 y calcular la granulometría de la nueva combinación.

Se pueden combinar los dos agregados gráficamente (Figura 2) como sigue:

1. Se grafican en el eje vertical derecho (que representa el 100 por ciento del agregado A) los porcentajes del mismo que pasan los distintos matices.

2. Se grafican en el eje vertical izquierdo (que representa el 100 por ciento del agregado B) los porcentajes del mismo que pasan los distintos tamices.

3. Unir con rectas los puntos comunes al mismo tamaño e indicarlo.

4. Marcar para los distintos tamaños los puntos dónde esas rectas cortan los límites de las especificaciones medidos en el eje vertical. (Por ejemplo para el tamiz de 9,5mm (3/8"), se marcan en la escala vertical los dos puntos, 70 y 90 por ciento, que indican los límites especificados para dicho tamiz).

5. Esta porción entre los dos puntos de la recta representa las proporciones de agregados A y B, medidos en el eje horizontal, que no excederán los límites de las especificaciones para ese tamaño en particular.

6. La porción de eje horizontal determinada por dos líneas verticales, que están dentro de los límites de las especificaciones de todos los tamaños, proyectadas verticalmente, representa las proporciones límites posibles para combinaciones satisfactorias. En este caso, combinando entre el 43 y el 54 por ciento del agregado A y entre el 46 y el 57 por ciento del agregado B se cumple con las especificaciones. También se puede ver que el porcentaje de material combinado que pasa los tami-

ces de 600 μm y de 75 μm (N^o30 y N^o200) son los valores críticos o de control para mantener la mezcla dentro de los límites de las especificaciones.

7. Generalmente para tener un cierto margen en la combinación, se selecciona el punto medio de esa porción horizontal. En este caso 48 por ciento de agregado A y 52 por ciento de agregado B.

PORCENTAJES PASANTES.

Tamiz	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 μm	300 μm	150 μm	75 μm
	¾"	½"	¾"	No. 4	8	30	50	100	200
Especif.	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10
Agregado A	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
Agregado B	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2

(a) Especificación granulométrica y análisis por tamices de los agregados.

$$\text{(No. 8), } b = \frac{P - A}{B - A} = \frac{42.5 - 3.2}{82 - 3.2} = 0.50, a = 1 - 0.50 = 0.50$$

Tamiz	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 μm	300 μm	150 μm	75 μm
	¾"	½"	¾"	No. 4	8	30	50	100	200
.50 × A	50	45.0	29.5	8.0	1.6	0.6			
.50 × B	50	50.0	50.0	48.0	41.0	25.5	18.0	10.5	4.6
Total	100	95.0	79.5	56.0	42.6	26.5	18.0	10.5	4.6
Espec.	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10

Observación: Reducido porcentaje bajo el N^o200; hacer b = 0,55; a = 0,45

(b) Primer tanteo para combinar.

Tamiz	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 μm	300 μm	150 μm	75 μm
	¾"	½"	¾"	No. 4	8	30	50	100	200
.45 × A	45	40.5	26.6	7.2	1.4	0.5			
.55 × B	55	55.0	55.0	52.8	45.1	28.0	19.8	11.5	5.1
Total	100	95.5	81.6	60.0	46.5	28.5	19.8	11.5	5.1
Espec.	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10

Observación: Alto porcentaje para el tamiz N^o30, hacer b=0,52; a=0,48

(c) Segundo tanteo para combinar.

Figura 1. Cálculo para combinación de dos agregados por aproximaciones sucesivas

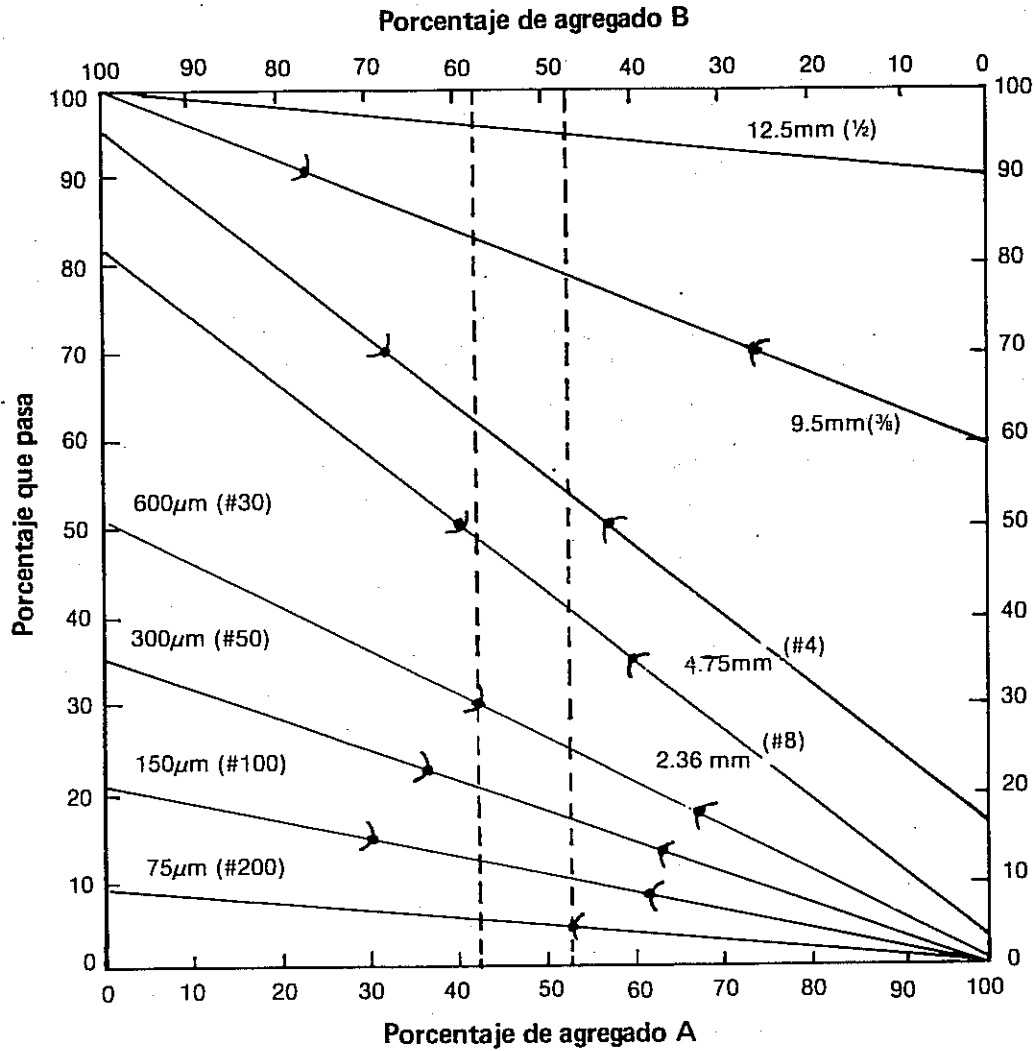


Figura 2. Determinación de las proporciones de dos agregados.

Combinación de tres Agregados

Se supone que deben combinarse filler mineral C, con los agregados A y B para obtener una mezcla que cumpla con los requerimientos granulométricos. En la Figura 3a se indican las especificaciones y granulometrías donde:

1. La observación de las granulometrías indica que hay una separación razonablemente clara entre los tamaños mayores y menores de 2,36mm (Nº8). El agregado A provee la mayor parte del tamaño de más de 2,36mm (Nº8).
2. Usando la (4), determinar la proporción aproximada de agregado A que se necesita para obtener 4,25 por ciento que pase el tamiz de 2,36 mm (Nº8), (Figura 3b).
3. Los porcentajes que pasan el tamiz de 75 µm (Nº200) se los examina luego. Se sustituyen los valores en la (1). El resto de los cálculos se explican por sí solos.

Si la granulometría combinada excede los límites de las especificaciones, se debe cambiar la proporción aparentemente responsable, variando también las otras proporciones para lograr un total de 100 por ciento.

Las aproximaciones sucesivas son sólo eso. Si con una inspección de las granulometrías se sacan índices que ayuden a establecer proporciones, se puede reducir considerablemente el número de soluciones.

Si se tienen agregados con curvas granulométricas que se superpongan, los métodos gráficos, si bien no determinan las proporciones, generalmente ayudan para aproximaciones sucesivas. Hay varios métodos gráficos posibles, pero éste es uno de los procedimientos más prácticos. Se divide cada uno de los tres agregados en

- (a) porcentaje de material retenido en tamiz de 2,36mm (Nº8)
- (b) porcentaje de material que pasa el tamiz de 2,36mm (Nº8) pero retenido en el de 75 µm (Nº200).
- (c) porcentaje de material que pasa el tamiz de 75 µm (Nº200).

PORCENTAJE PASANTE

Tamiz	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 µm	300 µm	150 µm	75 µm
	¾"	½"	¾"	No. 4	8	30	50	100	200
Espec.	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10
Agregado A	100	90	59	16	3.2	1.1			
Agregado B	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2
Agregado C	100	100	100	100	100	100	98	93	82

(a) Especificaciones granulométricas y análisis por tamices.

$$(No. 8). b = \frac{P - B}{A - B} = \frac{42.5 - 82}{3.2 - 82} = 0.50$$

$$(No. 200), P = Aa + Bb + Cc$$

$$7 = (0.50) + 9.2b + 82c, b + c = 1 - 0.50 = 0.50$$

$$7 = 9.2(0.50 - c) + 82c$$

$$c = \frac{7 - 4.6}{82 - 9.2} = b = 0.50 - 0.03 = 0.47$$

Tamiz	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 µm	300 µm	150 µm	75 µm
	¾"	½"	¾"	No. 4	8	30	50	100	200
.50 × A	50	45.0	29.5	8.0	1.6	0.6			
.47 × B	47	47.0	47.0	45.1	38.5	24.0	16.9	9.9	4.3
.03 × C	3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8	2.5
Total	100	95.0	79.5	56.1	43.1	27.6	19.9	12.7	6.8
Espec.	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10

(b) Primer tanteo para combinar tres agregados.

Figura 3. Aproximaciones sucesivas para combinar tres agregados.

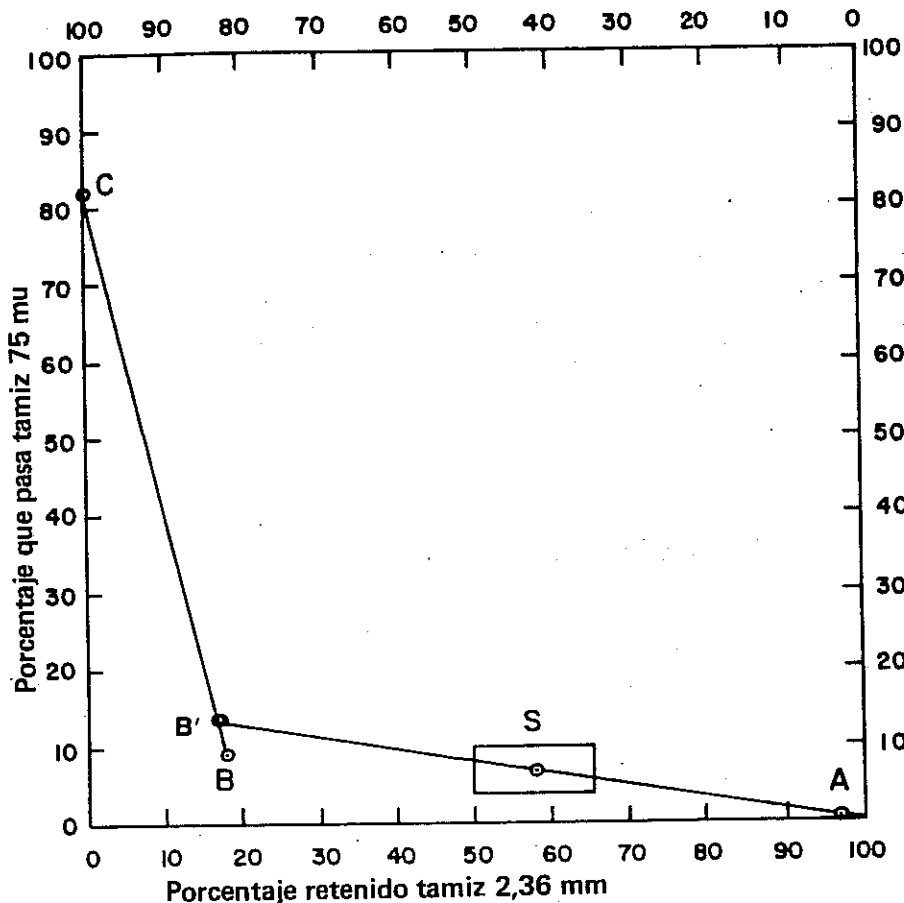


Figura 4. Método para estimar la combinación de tres agregados

En cierta forma, los límites de las especificaciones están divididos de una manera similar: límites permitidos de porcentaje retenido en el tamiz de 2,36mm (Nº8) y porcentaje que pasa el tamiz de 75 μm (Nº200).

En un gráfico se ubican los puntos representativos de cada uno de los tres agregados y un área cerrada que representa los límites de las especificaciones (Figura 4). El punto S indica el medio de los límites de las especificaciones.

Para ubicar los puntos en el gráfico se ha usado sólo la porción retenida en el tamiz de 2,36mm (Nº8) y la que pasa el de 75 μm (Nº200), para cada uno de los tres agregados; el punto A representa al agregado grueso, el B al agregado fino y el C al filler. El punto S representa el medio de los límites especificados para el material retenido en el tamiz de 2,36mm (Nº8) y que pasa el de 75 μm (Nº200). Se unen con rectas los puntos A y S y los B y C. Extendiendo la línea AS hasta la BC se establece el punto B'. Cada segmento se determina usando las diferencias de porcentajes entre puntos terminales. Luego se calcula el porcentaje necesario de cada material para la combinación usando las fórmulas siguientes, derivadas de la fórmula básica (1).

$$a = \frac{\text{Segmento SB}'}{\text{Recta AB}'} = \frac{42}{81} = 0.52$$

$$b + c = 1.00 - a = 1.00 - 0.52 = 0.48$$

$$c = (1.00 - a) \frac{\text{Segmento B'B}}{\text{Recta CB}} = (1.00 - 0.52) \frac{5}{73} = 0.03$$

$$b = 1.00 - (a + c) = 1.00 - (0.52 + 0.03) = 0.45$$

A partir de este punto se usan aproximaciones sucesivas si es necesario.

AJUSTES DE LA GRANULOMETRIA

Ajuste por Pesos Específicos Distintos

Las granulometrías de los agregados y por consiguiente sus curvas representativas se determinan y expresan en porcentajes del peso total. Sin embargo, las especificaciones de granulometría se establecen para cumplir con requerimientos volumétricos en una mezcla asfáltica para pavimentación. Los porcentajes en peso se pueden interpretar como porcentajes en volumen, siempre y cuando los pesos específicos de los agregados a combinar sean razonablemente similares. Cuando tengan diferencias significativas (generalmente 0,20 ó mas) se deben corregir las proporciones de agregados. El ajuste se basa en que:

$$\text{VOLUMEN X PESO ESPECIFICO} = \text{PESO}$$

Se supone calculada la siguiente combinación para tres agregados de distintos pesos específicos:

Agregado	Peso Específico	Proporción
A	1.00	0.52
B	2.00	0.45
C	3.00	0.03

En la Figura 5 están los cálculos de los ajustes.

Agregados	%Vol.	Peso esp.	Peso ¹	% Peso ²
A	52,0	1,00	52,00	34,4
B	45,0	2,00	90,00	59,6
C	3,0	3,00	9,00	6,0
Total	100,0	—	151,00	100,0

$$^1 \text{Peso} = \text{Vol.} \times \text{P. esp.}$$

$$^2 \text{ \% Peso} = \frac{\text{Peso individual}}{\text{Peso Total}} \times 100 = W/151 \times 100$$

Figura 5. Ajuste de los porcentajes en volumen a porcentajes en peso.

Ajuste por Eliminación

Quando los áridos son principalmente locales, extraídos de la zona adyacente al camino, los agregados triturados sin cribar son o más finos o más grandes que los deseados. Se puede combinar material más fino para corregir una granulometría que es más gruesa que la deseada. Pero cuando hay un exceso de fino, el ajuste más económico es desechar una porción del mismo. La mayoría de las plantas de trituración hacen las separaciones en la zaranda de 4,75mm (N^o4) o en la de 2,36mm (N^o8). Si hay un exceso en el tamaño menor, se desechar una porción del mismo para corregirlo. La cantidad a eliminar se expresa como porcentaje, considerando que el total del material triturado es el 100 por ciento.

Las fórmulas para analizar las granulometrías antes y después de desechar una parte, son las siguientes:

(Tamaños por encima de la zaranda de corte).

$$R_b = \frac{R_2 R_a}{R_1} \quad (5)$$

(Tamaños por debajo de la zaranda de corte)

$$P_b = \frac{P_2 P_a}{P_1} \quad (6)$$

donde

- P_a, R_a = porcentaje que pasa, o es retenido, antes de desechar, un tamaño dado;
- P_b, R_b = porcentaje que pasa, o es retenido, ajustado, después de desechar un tamaño dado;
- P_1, R_1 = porcentaje que pasa, o es retenido, en el tamaño a corregir antes de desechar una parte;
- P_2, R_2 = porcentaje que pasa, o es retenido, en el tamaño a corregir después de desechar una parte.

El porcentaje a eliminar, se encuentra en la siguiente fórmula:

$$W = \frac{(P_1 - P_2) 100}{(100 - P_2)} \quad (7)$$

Supóngase que se tiene un acopio de un agregado producido en una cantera adyacente al camino. En la Figura 6 se muestran los límites de las especificaciones y la granulometría de la trituración. Se observa que el tamaño de 4,75mm (N^o4) está por encima del valor máximo y que los otros porcentajes se aproximan a los límites superiores de la especificación. Se debe desechar una porción de la fracción menor de 4,75mm (N^o4) para reducir de 75 a 70 el porcentaje que pasa dicho tamiz. Primero se convierten los porcentajes de los tamaños mayores de 4,75mm (N^o4), en porcentajes retenidos y se determinan los porcentajes retenidos ajustados. Con (5) se encuentran los porcentajes de los tamaños mayores y se los convierte en porcentajes que pasan.

Se supone, en otro caso, que el tamaño de 600 μ m (N^o30) excede los límites de las especificaciones. Por lo tanto se debe desechar una cantidad suficiente de la fracción menor de 4,75mm (N^o4) para reducir de 31 a 28 por ciento el de 600 μ m (N^o30) (Figura 6b). En este caso, P_1 y P_2 de la fracción fina son valores para el tamiz de 600 μ m (N^o30). Cuando se deben obtener los porcentajes ajustados, se usan para la fracción gruesa R_1 y R_2 del tamiz de 4,75mm (N^o4).

Tamiz	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 μ m	150 μ m	75 μ m
	¾"	½"	¾"	No. 4	8	30	100	200
Especificación	100	80-100	70-90	55-73	40-55	20-30	10-18	4-10
% que pasa, P_a	100	98	87	75	54	28	17	9
% retenido, R_a	0	2	13	25				
% retenido ajust. R_b	0	2	16	30				
% que pasa ajust. P_b	100	98	84	70	50	26	16	8.4

$$P_b = \frac{P_2}{P_1} P_a = \frac{70}{75} P_a = 0.93 P_a \quad R_b = \frac{R_2}{R_1} R_a = \frac{30}{25} R_a = 1.20 R_a$$

$$\text{desechar, } W = \frac{100 (P_1 - P_2)}{(100 - P_2)} = \frac{100 (75 - 70)}{(100 - 70)} = 16.7\%$$

(a) Cálculos basados en el ajuste del porcentaje que pasa N^o4

Tamiz	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 μ m	150 μ m	75 μ m
	¾"	½"	¾"	No. 4	8	30	100	200
Especificación	100	80-100	70-90	55-73	40-55	20-30	10-18	4-10
% que pasa, P_a	100	95	85	70	53	31	16	9
% retenido, R_a	0	5	15	30				
% retenido ajust. R_b	0	6	18	37				
% que pasa ajust. P_b	100	94	82	63	48	28	14	8.1

$$P_b = \frac{P_2}{P_1} P_a = \frac{28}{31} P_a = 0.90 P_a \quad R_b = \frac{R_2}{R_1} R_a = \frac{37}{30} R_a = 1.23 R_a$$

$$\text{desechar, } W = \frac{100 (P_1 - P_2)}{(100 - P_2)} = \frac{100 (70 - 63)}{(100 - 63)} = 18.9\%$$

(b) Cálculos basados en el ajuste del porcentaje que pasa N^o30

Figura 6. Ajustes de las granulometrías por eliminación

TEMA D

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO

Nota para el Instructor

La lección 1 del Tema D describe la combinación de dos materiales (cemento asfáltico y agregado) en proporciones que producen mezclas asfálticas satisfactorias. Se incluyen varios cálculos para la evaluación de propiedades de la mezcla, en términos del análisis densidad-vacíos.

La Lección 2 es una de las más rigurosas del manual debido al número de cálculos que cubre. Por esta razón se deberá permitir mayor tiempo para la presentación de este material.

Los métodos corrientes de diseño de mezclas y su práctica pueden hacer que convenga dictar la segunda lección y omitir la tercera o la cuarta. Como una alternativa, el instructor puede concentrarse en los procedimientos de diseño que sus alumnos usarán más probablemente cuando terminen el curso, con sólo breves descripciones de otros procedimientos.

BIBLIOGRAFIA

1. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, MS-2 The Asphalt Institute.
2. *Model Construction Specifications for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types*, SS-1 The Asphalt Institute.
3. Wallace, H.A. and Martin, J.R., *Asphalt Pavement Engineering*. McGraw-Hill, 1967.
4. Ritter, L.J. and Paquette, R.J., *Highway Engineering*, Mc-Graw-Hill 1967.
5. Woods, K.B. (ed.), *Highway Engineering Handbook*, Mc Graw-Hill 1960.
6. Road and Paving Materials: Roofing, Waterproofing and Bituminous Materials: Skid Resistance, *Book of ASTM Standards*. Part 15.
7. *Standards. Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*.

Part II: Methods of Sampling and Testing. The American Association of State Highway and Transportation Officials.

AUDIOVISUALES AUXILIARES

1. *The Marshall Method for Design of Hot-Mix Asphalt Pavement*, 16-mm film (color, sonido, 20min.) The Asphalt Institute.
2. *The Hueem Method for Design of Hot-Mix Asphalt Pavement*, 16-mm film (color, sonido, 20min.) The Asphalt Institute.

MEMORANDUM

TO: THE BOARD OF TRUSTEES

FROM: THE PRESIDENT

Subject: [Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

LECCION 1

PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

Objetivo: Definir el concreto y otras mezclas asfálticas en caliente hechas en planta, y presentar consideraciones y procedimientos generales de diseño de mezclas.

INTRODUCCION	D 5
Definición de mezclas calientes	D 5
Clasificación de mezclas calientes	D 5
CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS	D 5
Propiedades deseadas	D 5
Objetivos	D 7
Aplicaciones de los ensayos de diseño de mezclas	D 8
PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS.....	D 9
Selección y combinación de agregados	D 9
Determinaciones de los pesos específicos	D 9
Preparación de las probetas de prueba.....	D 9
Peso específico de la probeta	D 9
Ensayo de estabilidad	D10
Densidad-Vacíos; su análisis	D10
Evaluación y ajustes en los diseños de mezclas	D11

LECCION 1

PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

INTRODUCCION

Definición de mezclas calientes

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en una combinación de agregados uniformemente mezclados recubiertos por cemento asfáltico. Para secar los agregados y obtener suficiente fluidez del cemento asfáltico como para lograr adecuada trabajabilidad y mezclado, tanto el agregado como el asfalto deben ser calentados antes del mezclado; de ahí el término "mezcla en caliente".

Los agregados y el asfalto son combinados en una planta de mezclado en la cual todos los materiales constituyentes son calentados, proporcionados y mezclados para producir la mezcla de pavimentación asfáltica deseada. Después que el mezclado en planta se completa, la mezcla es transportada al lugar de la pavimentación y distribuida por una pavimentadora en una capa ligeramente compactada para obtener una superficie uniforme y pareja. Mientras la mezcla está aún caliente, el material es compactado más intensamente por rodillos pesados accionados a motor para producir una capa lisa y bien consolidada.

Clasificación de las Mezclas Calientes

Las mezclas asfálticas en caliente pueden ser producidas para un amplio rango de combinaciones de agregados, cada uno con sus características particulares adecuadas al diseño específico y a sus usos en la construcción. Paralelamente a la cantidad y tipo de asfalto usado, se determinan las características principales de la mezcla por las cantidades relativas de:

- (a) agregado grueso, retenido en tamiz de 2,36mm (Nº8)
- (b) agregado fino, que pasa el tamiz de 2,36mm (Nº8)
- (c) polvo mineral, que pasa el tamiz de 75 μ m (Nº200)

El concreto asfáltico es un tipo de mezcla en caliente sometida a requerimientos estrictos, por lo cual deberá ser definida exactamente. Es una mezcla de alta calidad, cuidadosamente controlada, de cemento asfáltico y agregado bien graduado y de gran rendimiento, enteramente compactada llevándola a una masa de densidad uniforme tipificada como mezcla de graduación cerrada para pavimentación.

CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

Propiedades Deseadas

El diseño adecuado de una mezcla asfáltica de pavimentación para un uso específico, debe considerar las siguientes propiedades deseables de la mezcla:

1. Estabilidad
2. Durabilidad
3. Flexibilidad

4. Resistencia a la fatiga
5. Resistencia al deslizamiento
6. Impermeabilidad
7. Trabajabilidad.

Estabilidad — Capacidad de una mezcla asfáltica para resistir deformaciones provocadas por las cargas impuestas. Los pavimentos sin estabilidad sufren deformaciones (ahuellamientos y corrimientos u ondulaciones). La estabilidad depende de la fricción interna y de la cohesión.

La fricción interna depende de la textura superficial, granulometría del agregado, forma de las partículas, densidad de la mezcla y cantidad de asfalto. Es una combinación de la resistencia friccional y de la trabazón del agregado en la mezcla.

La resistencia friccional aumenta con la rugosidad superficial de las partículas del agregado. También aumenta con el área de contacto entre partículas. La resistencia por trabazón depende del tamaño y forma de las partículas. Para cualquier agregado dado, la estabilidad aumenta con la densificación de las partículas confinadas, la cual se logra mediante granulometrías cerradas y una adecuada compactación. Excesivo asfalto en la mezcla tiende a lubricar las partículas y a disminuir la fricción interna del esqueleto pétreo.

La cohesión es la fuerza aglutinante propia de una mezcla asfáltica para pavimentación. El asfalto sirve para mantener las presiones de contacto desarrolladas entre las partículas de agregado. La cohesión varía directamente con la intensidad de la carga, el área cargada y la viscosidad del asfalto. Varía inversamente con la temperatura, la cohesión aumenta con el incremento del contenido de asfalto hasta un máximo y luego decrece.

Durabilidad — Propiedad de una mezcla asfáltica que indica su capacidad de resistir la desintegración debida al tránsito y al clima. El deterioro debido al clima se basa en los cambios de las características del asfalto, tales como su oxidación y volatilización, que determinan una alteración del pavimento y agregados sumado, a la acción del agua, incluso su congelamiento y deshielo.

La durabilidad se incrementa por lo común mediante aumento en el contenido del asfalto, granulometrías cerradas del agregado y mezclas bien compactadas e impermeables. Una de las razones para aumentar la cantidad de asfalto es que la película que cubre a las partículas de agregado resulte de mayor espesor. Las películas más gruesas son más resistentes a endurecerse por envejecimiento. Esto implica que se requiere mayor tiempo para reducir una película de asfalto más gruesa a igual grado de fragilidad que una película fina. Otro argumento favorable es que el aumento en la cantidad de asfalto reduce el tamaño de los poros de los vacíos interconectados — o los sella — haciendo más difícil la entrada del agua o aire al interior de la mezcla.

Para resistir la acción del agua se aplican los mismos requerimientos, granulometría cerrada del agregado, altos contenidos de asfalto y una adecuada compactación. Es conveniente usar agregados que retengan la cubierta de asfalto en presencia del agua. Si la mezcla es cerrada, el desplazamiento del asfalto por el agua generalmente no ocurre.

Se debe proveer suficiente asfalto a la mezcla para darle propiedades ligantes adecuadas para resistir las fuerzas de tracción y abrasivas del tráfico. Un porcentaje de asfalto insuficiente puede provocar su desalojo de la superficie del agregado. Esto se conoce con el nombre de descubrimiento o desprendimiento. La abrasión puede tener lugar además si el asfalto ha comenzado a ponerse frágil. Un sobrecalentamiento del asfalto en las mezclas en caliente es causa de una posterior fragilidad, facilitando la abrasión del pavimento por el tránsito.

Una mezcla que tiene un alto contenido de asfalto, con vacíos completamente ocupados con el mismo, puede proveer una mayor durabilidad; sin embargo, esto podría no ser conveniente desde el punto de vista de la estabilidad. Cuando el material se coloca en el camino, puede ahuellarse o fluir bajo tránsito. También puede tener lugar el afloramiento o exudación del asfalto a la superficie.

La estabilidad máxima en una masa de agregados no se alcanza hasta que la cantidad de asfalto que recubre las partículas ha llegado a un valor crítico. Un porcentaje adicional del mismo actúa como lubricante más que como ligante, reduciendo la estabilidad de la mezcla pero aumentando su durabilidad. Por esta razón frecuentemente es necesario mantener el contenido de asfalto tan alto como sea posible conservando una adecuada estabilidad.

Flexibilidad — Capacidad de una mezcla asfáltica de adaptarse a asentamientos graduales y movimientos en la base y la subrasante. Los asentamientos diferenciales en el relleno de un terraplén ocurren ocasionalmente. Es casi imposible desarrollar una densidad uniforme en la subrasante durante su construcción porque las secciones o porciones de pavimento tienden a comprimirse y asentarse bajo tránsito. Por esta razón un pavimento asfáltico debe tener la capacidad de adaptarse a asentamientos localizados o diferenciales sin quebrarse. Generalmente la flexibilidad de una mezcla asfáltica se incrementa con altos contenidos de asfalto y agregados de granulometría relativamente abierta.

Resistencia a Fatiga — Capacidad del pavimento asfáltico de soportar flexiones repetidas causadas por el pasaje de las cargas de ruedas. Las pruebas han demostrado que la cantidad de asfalto es extremadamente importante cuando se considera la resistencia a fatiga en una mezcla para pavimentación. Como regla general, cuanto mayor es el contenido de asfalto, mayor la resistencia a fatiga. Las pruebas indican que las mezclas de graduación cerrada tienen mayor resistencia a fatiga que las de graduación abierta. A la mezcla deben incorporarse agregados bien graduados que permitan un mayor contenido de asfalto sin causar exudación o afloramiento en el pavimento compactado.

Resistencia al Deslizamiento — Capacidad de la superficie del pavimento asfáltico, de ofrecer resistencia al resbalamiento o deslizamiento, especialmente cuando está húmeda. Los factores para la obtención de alta resistencia al deslizamiento son generalmente los mismos que aquéllos con los que se obtiene una alta estabilidad. Los principales contribuyentes son: adecuados contenidos de asfalto y agregados con textura superficial rugosa. Sin embargo, el agregado no solamente debe tener una superficie rugosa, sino que también debe ser resistente al pulimento. Los agregados que contienen minerales que no son pulimentables, bajo diferentes condiciones de uso o abrasión, proveen una renovación continua de la textura del pavimento, manteniendo una superficie resistente al deslizamiento.

Las mezclas tan ricas en asfalto como para llenar los vacíos del pavimento compactado, causarán el afloramiento del mismo a la superficie. Esto es lo que normalmente se llama exudación. El asfalto libre en la superficie del pavimento puede dar condiciones resbaladizas cuando el pavimento está húmedo.

Impermeabilidad — Resistencia que tiene un pavimento asfáltico al pasaje de agua y aire dentro o a través del mismo. Ya que el contenido de vacíos puede ser un índice de la susceptibilidad de una mezcla compactada, al pasaje de aire o agua es de mucha importancia la interconexión de vacíos y su comunicación con la superficie. La impermeabilidad al aire y agua es extremadamente importante desde el punto de vista de la durabilidad de las mezclas asfálticas.

Trabajabilidad — Facilidad con que las mezclas para pavimentación pueden ser colocadas y compactadas. Si se pone especial cuidado en un diseño apropiado y se coloca con una máquina distribuidora, la trabajabilidad no será un problema. Algunas veces, las propiedades de los agregados que aseguran una alta estabilidad, hacen que las mezclas asfálticas que contienen dichos agregados sean difíciles de distribuir o compactar. Como los problemas de trabajabilidad se descubren con mayor frecuencia durante las operaciones de pavimentación, los ajustes en el diseño de la mezcla deben ser realizados rápidamente para permitir la prosecución del trabajo tan eficientemente como sea posible.

Objetivos

El diseño de mezclas asfálticas para pavimentación, como cualquier diseño de ingeniería de materiales, es una cuestión de selección y proporciones de materiales para obtener las cualidades y propiedades deseadas una vez finalizada la construcción. El objetivo general es una mezcla y graduación de agregados económicos (dentro de las exigencias de las especificaciones) y un contenido de asfalto adecuado que produzca una mezcla que posea:

1. Asfalto suficiente para asegurar un pavimento durable a través del total recubrimiento de las partículas del agregado e impermeabilización y trabazón de las mismas bajo una adecuada compactación.

2. Estabilidad suficiente de la mezcla para satisfacer los requerimientos de servicio y las demandas del tráfico sin deformación o desplazamiento.

3. Cantidad de vacíos en la mezcla total compactada suficiente para evitar el afloramiento, la exudación y la pérdida de estabilidad.

4. Adecuada trabajabilidad para permitir una operación de construcción eficiente en la colocación de la mezcla para pavimentación.

Aplicaciones de los Ensayos de Diseño de Mezclas

Normalmente, las pruebas que se realizan para el diseño de mezclas asfálticas tienen cuatro aplicaciones importantes en todo proyecto constructivo. Ellas son:

diseño preliminar

aceptación de los materiales

control de producción de la mezcla.

control de rutina de la construcción

Ensayos de Diseño Preliminar — El principal propósito de los ensayos preliminares de proyecto es determinar si las fuentes locales proveen agregados de calidad apropiada para elaborar una mezcla que satisfaga los requerimientos granulométricos y propios de la mezcla. El asfalto también debe cumplir con las exigencias prescriptas. Se deben realizar mezclas previas de tanteo, con una granulometría del agregado, que se aproxime a la media de los valores límites. Cuando se consideren varias fuentes de provisión de agregados, las mezclas experimentales pueden determinar la combinación más económica a usar. Los resultados del diseño preliminar de la mezcla sirven de base para una estimación previa de costos. Estos resultados indican además, si los requerimientos de proyecto pueden ser obtenidos dentro del marco de las especificaciones.

Ensayos de aceptación de materiales — Los ensayos de aceptación de las fuentes de provisión de materiales se hacen generalmente después que el contrato ha sido adjudicado y después que el contratista ha indicado las fuentes propuestas para agregados y asfalto. El objetivo principal de esta prueba es determinar la mezcla de agregados más económica que satisfaga tanto la granulometría como los requerimientos de diseño. Esto asegura la selección de los materiales apropiados y permite al contratista comenzar el acopio de estos materiales en el lugar de trabajo.

Ensayos de control de producción de la mezcla — Las pruebas de control de producción de la mezcla se realiza al comienzo de su elaboración en planta y en conjunción con la calibración de ésta, de acuerdo a la fórmula de obra. La fórmula de obra es la composición de la mezcla. Esto es, la graduación de los materiales combinados y el contenido de asfalto seleccionado. En la producción de la mezcla en planta son inevitables ciertas variaciones. La fórmula de obra tiene tolerancias que permiten variaciones razonables en la graduación del agregado y en el contenido de asfalto sin necesidad de correcciones.

Las mezclas de prueba para los ensayos de control de mezclado se hacen generalmente con muestras de agregados obtenidos de los silos calientes de la planta. Estos ensayos sirven para determinar si la mezcla para pavimentación producida, cumple con los requisitos de las especificaciones.

Ensayos de rutina para control de la construcción — Los ensayos de control de la construcción se realizan como rutina y de modo periódico por la inspección, durante la construcción del pavimento. Muestras obtenidas al azar de la mezcla caliente de la planta se chequean para determinar sus propiedades. Los resultados de estos ensayos son comparados con los obtenidos en los ensayos de control de producción y con los requerimientos de las especificaciones. Cuando ocurren irregularidades y los límites de la fórmula de obra son excedidos, se requieren correcciones apropiadas en planta. Aunque este tipo de prueba es de rutina, requiere una atención cuidadosa. Su importancia se enfatiza debido a que los resultados sirven como base para la aceptación o rechazo final de la construcción del pavimento.

PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

Selección y Combinación de Agregados

En un trabajo por contrato, generalmente el contratista selecciona por sí mismo el agregado. Deben considerarse los materiales disponibles localmente, tales como gravas y arenas. El ingeniero puede ahorrar en el costo de producción de la mezcla para pavimentación si determina una combinación económica de agregados que cumpla con los requerimientos de calidad y que cuando sean combinados, reproduzca la granulometría deseada. Cuanto menos sean los tipos de agregados a combinar más fácil será mantener el control de la mezcla en la planta. Por lo común suelen utilizarse dos o más agregados diferentes.

Los procedimientos para proporcionar los agregados de modo de obtener una determinada granulometría combinada, fueron tratados en el tema C.

Determinaciones de los Pesos Específicos

Los procedimientos para determinar los pesos específicos del asfalto y de los agregados ya han sido comentados. Generalmente se usan los siguientes:

1. Cemento asfáltico: peso específico a 25/25°C (77/77°F);
2. Agregado grueso: peso específico "bruto" (bulk);
3. Agregado fino: peso específico bruto;
4. Filler Mineral : peso específico aparente.

El peso específico del agregado combinado se determina por medio de:

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (1)$$

donde

G_{sb} = peso específico bruto de la mezcla
 $P_1, P_2 \dots P_n$ = porcentajes respectivos de los agregados 1, 2,..... etc y $P_1 + P_2 + \dots + P_n = 100$
 $G_1, G_2 \dots G_n$ = pesos específicos respectivos de los agregados 1, 2, etc.

Preparación de las Probetas de Prueba

Las probetas de mezclas asfáltica compactadas para pavimentación son preparadas en el laboratorio. Algunas de ellas son ejecutadas variando el contenido de asfalto. El método exacto de preparación y compactación de la muestra se indica en el método de evaluación, se usan por lo común dos métodos de proyecto de mezclas asfálticas; el método Marshall (ASTM D 1559) y el método Hveem (ASTM D 1560, D 1561).

Peso Específico de la Probeta

Después que la probeta de laboratorio ha sido compactada, extraída de su molde y enfriada, se determina el peso específico mediante varias pesadas de la probeta antes de su posterior ensayo (ASTM D 1188). Básicamente el procedimiento es el siguiente:



1. Pesar la muestra en el aire
2. Recubrir la muestra con parafina
3. Pesar la muestra recubierta, en el aire; y
4. Pesar la muestra recubierta, sumergida en agua.

Para probetas compactadas de concreto asfáltico, "sheet-asphalt", y otras mezclas que tienen una textura superficial fina o cerrada, se omiten los pasos 2 y 3. Por otro lado el peso saturado con superficie seca puede ser obtenido siguiendo las indicaciones para peso sumergido, como se detalla, en ASTM D 2726.

Los pasos 2 y 3 son definitivamente necesarios si la superficie de la probeta es porosa o si permite la infiltración de agua durante la determinación del peso sumergido.

Ensayo de Estabilidad

La estabilidad de cada probeta se determina de acuerdo al método de diseño usado para la mezcla. Este es un ensayo destructivo, por lo cual todas las pesadas y mediciones deben ser hechas antes del ensayo.

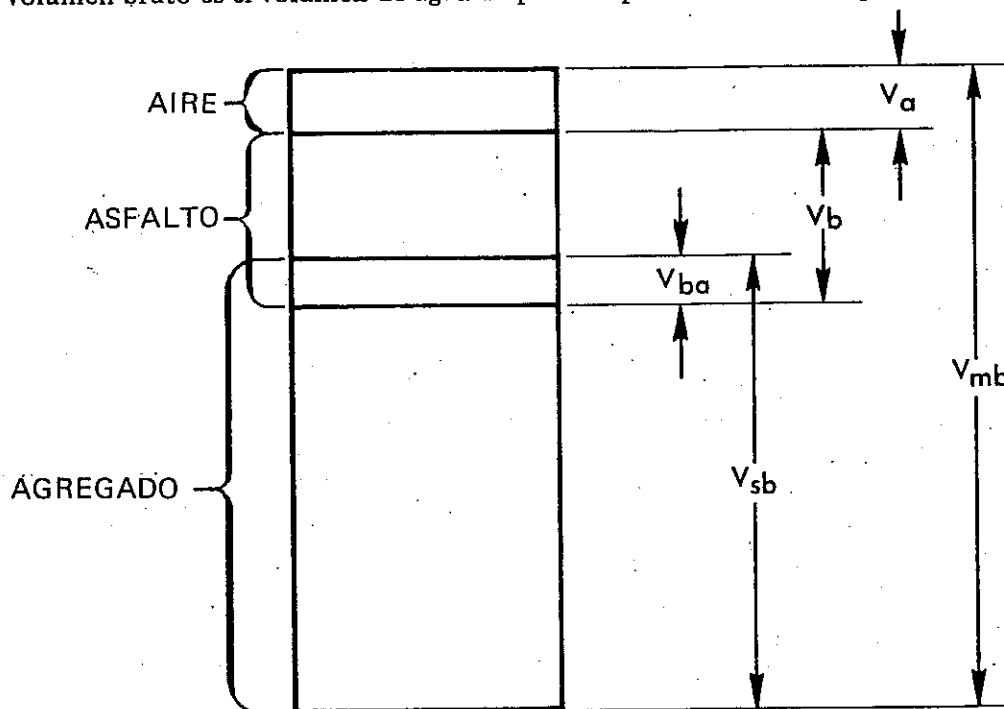
Análisis Densidad-Vacíos

Tres son las propiedades que se determinan en el análisis densidad-vacíos de una probeta de mezcla asfáltica compactada. Ellos son:

- (a) densidad de la probeta compactada
- (b) vacíos del agregado mineral
- (c) vacíos en la mezcla compactada

La densidad de la probeta compactada se expresa generalmente en peso específico bruto de la probeta multiplicado por la densidad del agua; 1.0 g/cm^3 nos da la densidad de la probeta compactada.

Del peso de la muestra (porcentaje de asfalto y agregado y pesos específicos de cada uno) pueden obtenerse los volúmenes de los materiales respectivos. Estos volúmenes se muestran en la Figura 1. El volumen bruto es el volumen de agua desplazado por la muestra compactada.



- V_{mb} = Volumen de la muestra compactada
- V_a = Volumen de vacíos
- V_b = Volumen de asfalto
- V_{ba} = Volumen de asfalto absorbido
- V_{sb} = Volumen bruto ("bulk") de agregado
- W_b = Peso del asfalto
- W_s = Peso del agregado

Densidad de la muestra compactada	$= \frac{W_b + W_s}{V_{mb}}$
Vacíos en el agregado mineral	$= \frac{V_{mb} - V_{sb}}{V_{mb}}$
Vacíos de la muestra compactada	$= \frac{V_{mb} - (V_{sb} - V_{ba} + V_b)}{V_{mb}}$

Figura 1. Relaciones densidad-vacíos de una muestra compactada de mezcla asfáltica para pavimentación

Los vacíos del agregado mineral (VAM) son expresados en porcentajes del volumen total de la muestra. Representan el volumen de la mezcla compactada que no es ocupado por el agregado.

Los vacíos de la mezcla V_a se expresan también como un porcentaje del volumen total de la muestra. Representan el volumen que no es ocupado ni por asfalto ni por agregado. A menos que la cantidad de asfalto absorbido por el agregado sea tenida en cuenta, el porcentaje de vacíos de la mezcla puede ser engañosamente bajo.

Evaluación y Ajustes en los Diseños de Mezclas

En el proyecto de una mezcla determinada, por lo común es necesario hacer varias mezclas experimentales para satisfacer el criterio particular de diseño usado. Donde las mezclas experimentales no responden al criterio de diseño, es necesario modificar o en algunos casos rediseñar la mezcla. Se requieren ciertos ajustes en la combinación de los distintos agregados, dentro de los límites de las exigencias, para encuadrarse en las especificaciones respectivas.

En la evaluación y ajuste de los diseños de mezclas el ingeniero debe tener presente siempre que la granulometría del agregado y el contenido de asfalto de la mezcla final deben proporcionar un balance favorable entre los requerimientos de estabilidad y durabilidad. El objetivo debe ser una adecuada estabilidad y una máxima durabilidad.

LECCION 2

CALCULOS EN LA MEZCLA ASFALTICA

Objetivo: Presentar la teoría y el cálculo para la determinación de vacíos, vacíos del agregado mineral y densidades de las mezclas asfálticas.

INTRODUCCION	D15
CALCULOS PRELIMINARES	D15
Peso específico bruto del agregado total	D17
Asfalto absorbido por el agregado	D17
Peso específico bruto de la mezcla compactada	D19
ANALISIS DENSIDAD-VACIOS	D20
Pesos y volúmenes de una probeta de 100 cm ³	D20
Análisis densidad-vacíos	D21
SUMARIO DE ECUACIONES	D21
DETERMINACIONES DIVERSAS	D24
Peso específico máximo de la mezcla	D24
Contenido efectivo de asfalto	D25
Ajuste de pesos, volúmenes y densidades	D26

AS

LECCION 2

CALCULOS EN LA MEZCLA ASFALTICA

INTRODUCCION

Los siguientes procedimientos analíticos se aplican a mezclas para pavimentación, compactadas en laboratorio y muestras o testigos extraídas del pavimento compactado.

Mediante el análisis de los vacíos de una probeta y los vacíos del agregado mineral (VAM) de una mezcla compactada, se puede predecir su probable durabilidad y comportamiento en servicio. Los vacíos de una probeta son los pequeños espacios de aire que quedan entre las partículas de agregado recubiertas por betún; el VAM corresponde a los espacios vacíos intergranulares entre partículas de agregado, parte de los cuales son ocupados con asfalto en la mezcla compactada.

Es posible desarrollar muchas ecuaciones para hacer el análisis densidad-vacíos. Cuando los conceptos básicos son entendidos, el desarrollo de nuevas ecuaciones para ajustar una serie de mediciones es un procedimiento relativamente simple.

Debe conocerse toda información relativa a los materiales que componen una mezcla asfáltica, antes de hacer cualquier cálculo de peso y volumen. Esto es:

peso específico del asfalto a 25/25°C (77/77°F)

peso específico bruto de cada agregado mineral

proporciones de cada material en la mezcla.

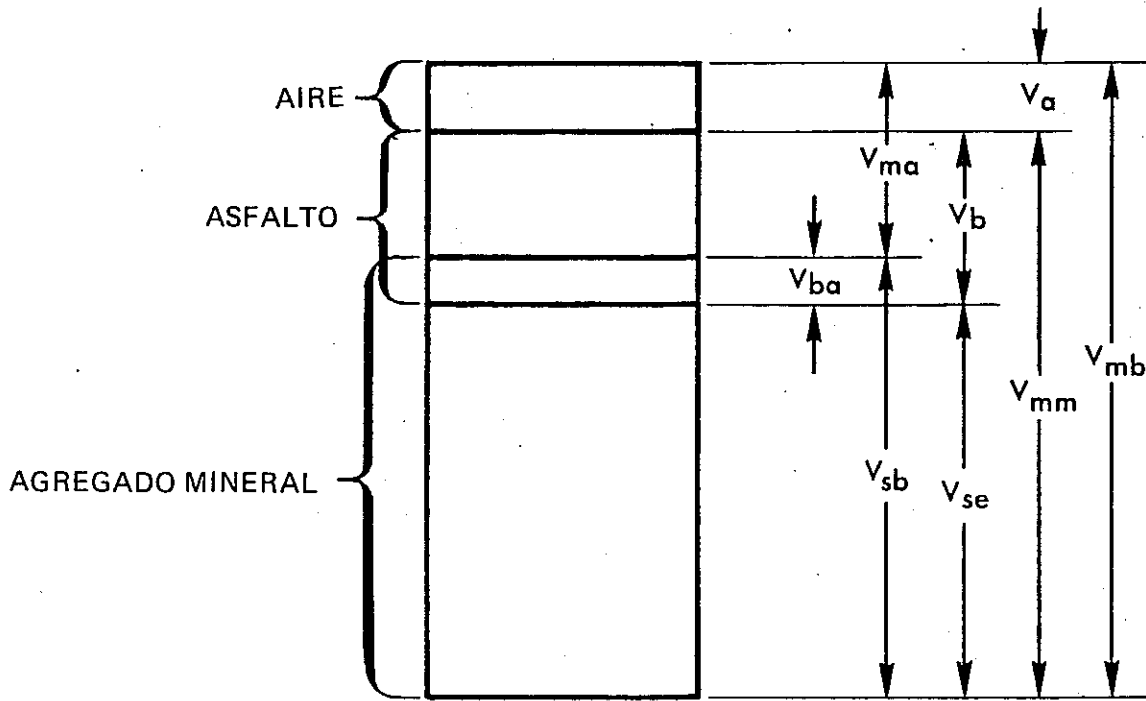
Además, se debe realizar una serie de determinaciones del peso de la muestra no compactada para establecer la cantidad de asfalto absorbido por las partículas del agregado.

Disponiendo de esta información es posible hacer un análisis densidad-vacíos de las probetas de mezclas compactadas, cuyos pesos y volúmenes son conocidos.

Para comprender los fundamentos de lo expresado, en la Figura 1 se esquematiza una mezcla asfáltica. La representación se indica en términos de volumen, pero pueden ser expresados en peso, usando los mismos subíndices. Nos referiremos frecuentemente a la Figura 1 a medida que se desarrollen las ecuaciones.

CALCULOS PRELIMINARES

Los datos para todos los cálculos ilustrativos de esta lección están basados en la información dada en la Tabla 1. Todos los cálculos de densidad-vacíos incluyen mediciones de los materiales a 25°C (77°F), incluso los pesos específicos. En algunos casos son necesarios las determinaciones de los pesos sumergidos. Aún cuando la densidad del agua es 0,997 g/ml (62,26 lb/pie³) a 25°C (77°F), se acepta un valor de 1.0 g/ml (62,4 lb/pie³). El error inducido por esta admisión es insignificante frente a la precisión de las pesadas.



- V_{ma} = Volumen de vacíos del agregado mineral
- V_{mb} = Volumen bruto ("bulk") de la muestra compactada.
- V_{mm} = Volumen de la mezcla sin vacíos.
- V_a = Volumen de vacíos de aire
- V_b = Volumen de asfalto
- V_{ba} = Volumen de asfalto absorbido
- V_{sb} = Volumen de agregado mineral (mediante el peso específico bruto)
- V_{se} = Volumen del agregado mineral (mediante peso específico efectivo).
- W = pesos, con idénticos subíndices

Figura 1. Representación de pesos y volúmenes en una muestra de asfalto compactada.

TABLA 1
DATOS BASICOS PARA UNA MUESTRA DE MEZCLA ASFALTICA

Materiales componentes	Peso específico		Porcentajes en peso de la mezcla total
	Aparente	Bruto	
Cemento asfáltico, 85-100	1.010	—	6.96
Agregado grueso	—	2.604	51.45
Agregado fino	—	2.723	34.24
Filler mineral	2.701	—	7.35

Pesos de la muestra sin compactar:

Mezcla suelta en el aire, W_{mm} = 1260.0 g

Frasco lleno de agua, W_1 = 2001.0 g

Frasco con mezcla y agua, W_2 = 2744.9 g

Pesos en la muestra compactada

Probeta compactada, W_m = 1174.7 g

Probeta recubierta con parafina, W_{mp} = 1219.9 g

Probeta recubierta con parafina, sumergida en agua, W_{mpw} = 668.6 g

Peso específico de la parafina, G_p = 0.9

Peso de la probeta sin recubrir sumergida en agua, W_{mw} = 679.8 g

Peso de la probeta saturada con superficie seca, W_{mssd} = 1179.9 g

Peso Específico bruto del Agregado Total

Como el agregado total está compuesto por fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino, y filler mineral, todos con distintos pesos específicos, los cálculos posteriores se verán facilitados enormemente mediante el cálculo del peso específico bruto del agregado total. La fórmula es:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (1)$$

donde

G_{sb} = peso específico bruto del agregado total

P_1, P_2, \dots, P_n = porcentajes en peso de los agregados, 1, 2, n;

G_1, G_2, \dots, G_n = pesos específicos bruto de los agregados 1, 2, n

Cálculo

$$G_{sb} = \frac{51.45 + 34.24 + 7.35}{\frac{51.45}{2.604} + \frac{34.24}{2.723} + \frac{7.35}{2.701}} = \frac{93.04}{19.76 + 12.57 + 2.72} = 2.654$$

Asfalto Absorbido por el Agregado

Durante la preparación de las muestras experimentales se prepara una mezcla "promedio" para determinar la cantidad de asfalto absorbido por el agregado. Se usa el procedimiento para la determinación del peso específico máximo de mezclas asfálticas para pavimentación, ASTM D 2041.

Como los poros del agregado son ocupados con asfalto, se distingue el concepto de peso específico efectivo del peso específico bruto. O sea:

$$V_{ba} = V_{sb} - V_{se} \quad (2)$$

donde

$$\begin{aligned} V_{ba} &= \text{volumen de asfalto absorbido} \\ V_{sb} &= \text{volumen de agregado según peso específico bruto, } G_{sb}; \text{ y} \\ V_{se} &= \text{volumen de agregado según peso específico efectivo, } G_{se} \end{aligned}$$

Se puede demostrar que:

$$V_{sb} = \frac{W_s}{G_{sb}}, \text{ y } V_{se} = \frac{W_s}{G_{se}}$$

donde W_a = peso del agregado

Estas expresiones se introducen en (2) y se simplifica obteniendo:

$$V_{ba} = W_s \left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} \right) \quad (3)$$

El volumen de asfalto absorbido se pasa a porcentaje en peso del agregado de la mezcla, ya que es en primer lugar una función del agregado y no del contenido de asfalto. La relación básica es:

$$P_{ba} = \frac{W_{ba}}{W_a} 100$$

donde

$$\begin{aligned} P_{ba} &= \text{asfalto absorbido, \% en peso del agregado; y} \\ W_{ba} &= \text{peso del asfalto absorbido} \end{aligned}$$

de la cual, usando la (3) se deduce la siguiente fórmula:

$$P_{ba} = 100 \left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} \right) G_t \quad (4)$$

Antes de hacer este cálculo, se debe determinar el peso específico efectivo (como se describió en sección C):

$$G_{se} = \frac{W_{mm} - W_b}{V_{mm} - V_b} \quad (4a)$$

donde

$$\begin{aligned} W_{mm}, V_{mm} &= \text{peso y volumen de la mezcla sin compactar, y} \\ W_b, V_b &= \text{peso y volumen de asfalto en la mezcla (ver Figura 1)} \end{aligned}$$

Para calcular el volumen sin compactar, V_{mm} :

$$V_{mm} = \frac{W_{mm}}{\gamma_w} + \frac{W_1}{\gamma_w} - \frac{W_2}{\gamma_w} \quad (5)$$

donde W_1 y W_2 , tanto como W_{mm} son los pesos descriptos en Tabla 1 y γ_w es la densidad del agua (admitida en 1,0 g/ml). Los cálculos de acuerdo a la Tabla 1, son:

$$V_{mm} = \frac{1260.0}{1} + \frac{2001.0}{1} - \frac{2744.9}{1} = 516.1 \text{ ml}$$

$$G_{uc} = \frac{1260.0 - 0.0696(1260.0)}{516.1 - \frac{0.0696(1260.0)}{1.010}} = \frac{1172.3}{429.3} = 2.731$$

$$P_{ua} = 100 \left(\frac{2.731 - 2.654}{2.654(2.731)} \right) 1.010 = 1.07 \%$$

Peso Específico Bruto de la Muestra Compactada

El peso específico bruto de la muestra compactada se determina mediante el cálculo del cociente entre su peso en el aire y su volumen bruto. Existen varios caminos para realizar ésto. Uno de los procedimientos incluye el revestimiento de la probeta con parafina antes de determinar el peso sumergido (ASTM D 1188, AASHTO T 166). La parafina tapa los capilares superficiales y previene la penetración de agua. La fórmula básica es:

$$G_{mb} = \frac{W_m}{(V_{mb} + V_p) - V_p}$$

donde

G_{mb} = peso específico bruto de la muestra compactada;
 W_m = peso de la muestra compactada (sin recubrir);
 $(V_{mb} + V_p)$ = volumen de la muestra recubierta con parafina; y
 V_p = volumen del recubrimiento de parafina

De esto se deduce la siguiente fórmula:

$$G_{mb} = \frac{W_m}{(W_{mp} - W_{mpw}) - \left(\frac{W_{mp} - W_m}{G_p} \right)} \quad (6)$$

donde los términos están descriptos en Tabla 1.

Cálculo

$$G_{mb} = \frac{1174.7}{1219.9 - 668.6 - \left(\frac{1219.9 - 1174.7}{0.9} \right)} = \frac{1174.7}{501.1} = 2.344$$

Otro método, para mezclas que tienen superficie impermeable, y no requiere recubrimiento de parafina, usa el peso bruto con superficie saturada (ASTM D 2726). Para la probeta sin recubrimiento:

$$G_{mb} = \frac{W_m}{W_{msd} - W_{mw}} \quad (7)$$

en la cual los términos figuran en la Tabla 1.

Cálculo

$$G_{mb} = \frac{1174.7}{1179.9 - 679.8} = \frac{1174.7}{500.1} = 2.349$$

ANALISIS DENSIDAD-VACIOS

Pesos y volúmenes de una probeta de 100 cm³

Es posible calcular los vacíos directamente de la información ya suministrada. Sin embargo en la preparación de varias muestras experimentales, es por lo general más conveniente calcular pesos y volúmenes para una muestra de mezcla compactada de 100cm³.

La fórmula para la determinación del peso es

$$W = 100 G_{mb} \quad (8)$$

Cálculo

$$W = 100 (2.344) = 234.4 \text{ g}$$

Los pesos de los componentes, asfalto y agregados se hallan así:

$$\text{Peso del asfalto, } W_b = \frac{P_b W}{100} \quad (9)$$

donde

P_b = porcentaje de asfalto en peso de la mezcla total

$$W_b = \frac{6.96 (234.4)}{100} = 16.3 \text{ g}$$

Cálculo:

$$\text{Peso del agregado, } W_a = W - W_b \quad (10)$$

Cálculo:

$$W_a = 234.4 - 16.3 = 218.1 \text{ g}$$

$$\text{Peso del asfalto absorbido, } W_{ba} = \frac{P_{ba} W_a}{100} \quad (11)$$

Cálculo:

$$W_{ba} = \frac{1.07 (218.1)}{100} = 2.3 \text{ g}$$

Habiendo encontrado los distintos pesos, pueden ser determinados sus volúmenes.

$$\text{volumen de asfalto, } V_b = \frac{W_b}{G_b} \quad (12)$$

Cálculo

$$V_b = \frac{16.3}{1.010} = 16.1 \%$$

$$\text{Volumen de asfalto absorbido, } V_{ba} = \frac{W_{ba}}{G_b} \quad (13)$$

Cálculo:
$$V_{ha} = \frac{2.3}{1.010} = 2.3 \%$$

Volumen del agregado,
$$V_{sa} = \frac{W_a}{G_{sa}} \quad (14)$$

Cálculo:

$$V_{sa} = \frac{218.1}{2.654} = 82.2 \%$$

Análisis Densidad-Vacíos

La selección del contenido óptimo de asfalto está influenciada por la densidad obtenida y los vacíos de la mezcla. Simultáneamente deben existir suficientes vacíos en el agregado mineral (VAM) para alojar la cantidad de asfalto necesaria para cumplir con los propósitos de durabilidad. Estas propiedades se hallan por:

Unidades métricas	Unidades norteamericanas
Peso, $Mg/m^3 = W = 1.0 G_{mb}$	Peso, $lb/ft^3 = W = 62.4 G_{mb}$

(15)

Cálculo:

$$W = 1(2.344) = 2.344 Mg/m^3 \quad W = 62.4(2.344) = 146.3 lb/ft^3$$

$$\text{Vacíos, en porcentaje del volumen total, } V_n = 100 - (V_b + V_{sa} - V_{ha}) \quad (16)$$

Cálculo:

$$V_n = 100 - (16.1 + 82.2 - 2.3) = 100 - 96.0 = 4.0 \%$$

$$\text{Vacíos en el agregado mineral, en porcentaje del volumen total, } VMA = 100 - V_{sa} \quad (17)$$

Cálculo:

$$VMA = 100 - 82.2 = 17.8 \%$$

SUMARIO DE ECUACIONES

A continuación se indican las operaciones que se deben realizar y ecuaciones para el análisis densidad vacíos

1. Composición de la mezcla
 - Peso específico del asfalto, G_b ;
 - Peso específico bruto de los agregados, G_1, G_2, \dots, G_n
 - Asfalto, porcentaje en peso de la muestra total, P_b ; y
 - Pesos o porcentajes de agregados, P_1, P_2, \dots, P_n .
2. Mediciones en la mezcla no compactada
 - Peso de la muestra suelta, W_{mm} ;
 - Peso del frasco lleno de agua, W_1 , y
 - Peso del frasco, con mezcla y agua, W_2 .

3. Pesos de la muestra compactada:

Probeta en el aire, W_m

Probeta recubierta con parafina, en el aire, W_{mp}

Probeta recubierta con parafina, sumergida en agua, W_{mpw}

Peso específico del recubrimiento, G_p .

4. Cálculos preliminares

Peso específico bruto del agregado total:

$$G_{st} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (1)$$

Peso específico efectivo del agregado total:

$$G_{se} = \frac{W_{mm} - W_b}{V_{mm} - V_b} \quad (4a)$$

donde

$$V_{mm} = \frac{W_{mm}}{\gamma_w} + \frac{W_1}{\gamma_w} - \frac{W_2}{\gamma_w} \quad (5)$$

Asfalto absorbido en porcentaje en peso del agregado :

$$P_{ba} = 100 \left(\frac{G_{se} - G_{st}}{G_{st} G_{se}} \right) G_p \quad (4)$$

Peso específico bruto de la probeta compactada:

$$G_{mb} = \frac{W_m}{\frac{W_{mp}}{\gamma_w} - \frac{W_{mpw}}{\gamma_w} - \left(\frac{W_{mp} - W_m}{G_p} \right)} \quad (6)$$

o

$$G_{mb} = \frac{W_m}{\frac{W_{mss}}{\gamma_w} - \frac{W_{mw}}{\gamma_w}} \quad (7)$$

5. Determinación de volúmenes y pesos de una probeta de 100 cm³

$$\text{Peso de la probeta, } W = 100 G_{mb} \quad (8)$$

$$\text{Peso de asfalto, } W_b = \frac{P_b W}{100} \quad (9)$$

$$\text{Peso del agregado, } W_s = W - W_b \quad (10)$$

$$\text{Peso de asfalto absorbido, } W_{ba} = \frac{P_{ba} W_s}{100} \quad (11)$$

$$\text{Volumen de asfalto, } V_b = \frac{W_b}{G_b} \quad (12)$$

$$\text{Volumen de asfalto absorbido, } V_{ba} = \frac{W_{ba}}{G_b} \quad (13)$$

$$\text{Volumen de agregado, } V_{ab} = \frac{W_a}{G_{ab}} \quad (14)$$

6. Análisis densidad-vacíos :

$$\begin{aligned} \text{Densidad, Mg/m}^3, W &= 1.0 G_{mb} \\ \text{Densidad, lb/pie}^3, W &= 62.4 G_{mb} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\text{Vacíos, en porcentaje del volumen total, } V_a = 100 - (V_b + V_{ab} - V_{ba}) \quad (16)$$

$$\text{VAM, porcentaje del volumen total, } VAM = 100 - V_{sb} \quad (17)$$

El significado de los símbolos figuran en la Tabla 2.

Los componentes, asfalto y agregados, han sido expresados en porcentaje del peso total de la mezcla, salvo cuando se lo indica de otra manera. Los componentes del agregado se determinan y expresan usualmente en porcentaje en peso total del agregado combinado. Aún así, la ecuación (1) puede ser usada sin ajustes.

TABLA 2
EXPLICACION DE LOS SIMBOLOS

Volúmenes

- V_a = Vacíos en la mezcla compactada
- V_b = asfalto en la mezcla
- V_{ba} = asfalto absorbido
- V_{be} = asfalto efectivo
- V_{mb} = mezcla compactada (volumen bruto)
- V_{mm} = mezcla para pavimentación sin vacíos
- V_p = recubrimiento de parafina
- V_{sb} = agregados (mediante el peso específico bruto)
- V_{se} = agregados (mediante el peso específico efectivo)
- VAM = vacíos del agregado mineral (porcentaje del volumen bruto).

Pesos

- W = peso unitario de la mezcla compactada
- W_1 = frasco con agua
- W_2 = frasco, con mezcla y agua.
- W_b = asfalto
- W_{ba} = asfalto absorbido
- W_{be} = asfalto efectivo
- W_m = muestra compactada
- W_{ma} = muestra compactada (peso ajustado)
- W_{mm} = muestra sin compactar
- W_{mp} = muestra compactada recubierta con parafina
- W_{mpw} = muestra compactada, recubierta y sumergida
- W_{mssd} = muestra compactada saturada con superficie seca
- W_s = agregado seco

Pesos específicos

- G_1, G_2, G_n = de los componentes individuales del agregado
- G_b = del asfalto
- G_{mb} = de la muestra compactada (bruto).
- G_{mba} = de la mezcla compactada ajustado (bruto)
- G_{mm} = de la muestra compactada máximo (sin vacíos)
- G_p = de la parafina
- G_{sb} = del agregado bruto
- G_{se} = del agregado, efectivo

Porcentajes

- P_1, P_2, P_n = de los componentes individuales del agregado
- P_b = asfalto, en peso del total de la muestra
- P_{ba} = asfalto absorbido, en peso del agregado
- P_{be} = asfalto efectivo en peso del total de la mezcla ajustado
- P_s = agregado en peso del total de la mezcla
- P_a = vacíos, en volumen del total de la mezcla compactada.

En algunos laboratorios el contenido de asfalto se expresa como porcentaje en peso del agregado. En estas circunstancias los porcentajes de asfalto y agregado deben ser ajustados en términos de peso total de la mezcla a través de las siguientes fórmulas:

$$P_b = \frac{100P'_b}{100 + P'_b} \quad ; \quad P_s = \frac{100}{100 + P'_b}$$

donde

P'_b = contenido de asfalto, porcentaje en peso del agregado.

Si se tiene cuidado, la modificación de las ecuaciones puede ser llevada a cabo sin tener que ajustar los porcentajes de asfalto y agregados con las ecuaciones anteriores. Sin embargo es necesario tener presente que el peso de los agregados más el de asfalto debe ser igual al peso total de la mezcla.

DETERMINACIONES DIVERSAS

Peso Específico Máximo de la Mezcla

El peso específico teórico máximo, de una mezcla para pavimentación es el peso específico de la mezcla sin vacíos. La norma ASTM D 2041 provee los medios para establecer el volumen V_{mm} : de allí la determinación del peso específico máximo es simple:

Cálculo:

$$G_{mm} = \frac{W_{mm}}{V_{mm}} = \frac{W_{mm}}{\frac{W_{mm}}{\gamma_w} + \frac{W_1}{\gamma_w} - \frac{W_2}{\gamma_w}} \quad (18)$$

$$G_{mm} = \frac{1260.0}{\frac{1260.0}{1} + \frac{2001.0}{1} - \frac{2744.9}{1}} = \frac{1260.0}{516.1} = 2.441$$

El peso específico teórico máximo también puede ser calculado para un contenido dado de asfalto, si se conoce la cantidad absorbida. La fórmula básica es:

$$G_{mm} = \frac{W}{V_{sb} + V_b - V_{ba}} \quad (19)$$

Usando la información suministrada para una probeta de 100 cm³:

$$G_{mm} = \frac{234.4}{82.2 + 16.1 - 2.3} = \frac{234.4}{96.0} = 2.442$$

Teniendo el peso específico máximo teórico para un dado contenido de asfalto, los vacíos, V_a y VMA pueden ser obtenidos en forma más directa usando el peso específico bruto de la probeta compactada. La fórmula básica para determinar vacíos es:

$$V_a = V - V_{mm}$$

la cual puede transformarse en:

$$V_a = \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) 100 \quad (20)$$

La fórmula básica para la determinación del VMA es:

$$VMA = V - V_{sb}$$

que también puede expresarse así:

$$VMA = \frac{100 (G_{sb} - G_{mb}) + G_{mb} P_b}{G_{sb}} \quad (21)$$

Contenido Efectivo de Asfalto

El contenido efectivo de asfalto de una mezcla para pavimentación es el total menos la cantidad de asfalto perdida por absorción dentro del agregado. Es esta porción de asfalto total la que permanece como recubrimiento exterior de las partículas de agregado. El comportamiento de una mezcla para pavimentación depende del contenido de asfalto efectivo, la fórmula básica para la determinación del asfalto efectivo es:

$$P_{be} = \frac{W_b - W_{ba}}{W_m - W_{ba}}$$

De esta se obtiene la siguiente expresión:

$$P_{be} = \left[\frac{P_b - \frac{P_{ba}}{100} (100 - P_b)}{100 - \frac{P_{ba}}{100} (100 - P_b)} \right] 100 \quad (22)$$

Cálculo:

$$P_{be} = \left[\frac{6.96 - \frac{1.07}{100} (93.04)}{100 - \frac{1.07}{100} (93.04)} \right] 100 = \frac{6.96 - 0.87}{100 - 0.87} = \frac{6.09}{99.1} = 6.14 \%$$

Ajuste de Pesos, Volúmenes y Densidades

Con propósitos de investigación puede ser conveniente expresar los pesos, volúmenes y densidades en base al contenido efectivo de asfalto, eliminando completamente la cantidad absorbida. Esto significa que el contenido de asfalto debe ser ajustado al valor efectivo, y el peso del asfalto absorbido será deducido de los pesos respectivos. Los valores ajustados se determinan con las siguientes expresiones:

$$\text{Contenido de asfalto efectivo, } P_{be} = \frac{W_b - W_{ba}}{W_m - W_{ba}}$$

$$\text{Peso específico máximo ajustado, } G_{mma} = \frac{W_{mm} - W_{ba}}{V_{mm}}$$

$$\text{Peso específico bruto de la mezcla ajustado: } G_{mba} = \frac{W_m - W_{ba}}{V_{mb}}$$

LECCION 3

1 – METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

Objetivo: Describir el método Marshall de diseño de mezclas.

INTRODUCCION	D29
Método de diseño y requisitos	D29
Nómina de muestras y ensayos	D30
Preparación de las mezclas de ensayo	D30
METODO MARSHALL DE DISEÑO DE MECLAS	D30
Desarrollo y aplicación	D30
Esquema del método	D32
Preparación de las muestras de ensayo.....	D33
Procedimiento de ensayo	D35
Preparación de datos	D39
Interpretación de resultados	D39

LECCION 3

1 – METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

INTRODUCCION

Método de diseño y requisitos

Los métodos de diseño y requisitos a cumplir forman una parte esencial de las especificaciones de construcción para todo los pavimentos asfálticos de tipo superior. Cualquiera sea el diseño de mezcla utilizado, ello constituye una parte de las especificaciones y no una "ley" por sobre las mismas.

El organismo o autoridad responsable de la construcción del pavimento generalmente establece el método y los requerimientos de diseño de la mezcla. Una vez que éstos han sido establecidos, comienza a ser responsabilidad del ingeniero y del técnico, el desarrollo del diseño de la mezcla dentro de las exigencias de las especificaciones.

Los métodos de diseño de mezclas de Marshall y Hveem han sido ampliamente usados, con resultados satisfactorios. Para cada método ha sido desarrollado un criterio correlacionando los resultados de los ensayos de laboratorio sobre mezclas para pavimentación compactadas con el comportamiento de las mismas bajo condiciones de servicio. Bajo cualquier circunstancia, sin embargo, la correlación fue hecha dentro de ciertos límites; estos límites están presentados en esta sección para cada método. Cada método de diseño no es aplicable a todo tipo de mezclas. Las conveniencias de los métodos de diseño de laboratorio para distintos tipos de mezclas, están dados en Tabla 1.

**TABLA 1
CONVENIENCIA DE LOS METODOS DE DISEÑO DE LABORATORIO**

Designación ASTM de la mezcla*	Marshall	Hveem
37.5 mm (1½ in.)	U	U
25.0 mm (1 in.)	O	O
19.0 mm (¾ in.)	✓	✓
12.5 mm (½ in.)	✓	✓
9.5 mm (¾ in.)	✓	✓
4.75 mm (No. 4)	✓	✓
2.36 mm (No. 8)	U	U
1.18 mm (No. 16)	✓	✓

✓ = conveniente

O = conveniente si el tamaño máximo del agregado no supera los 25mm. (1")

U = no conveniente

* ASTM D 3515, Tabla 3

Nómina de Muestras y Ensayos

Antes de realizar los ensayos de la mezcla diseñada, el inspector debe determinar para su propia satisfacción si las muestras representativas del agregado y del asfalto se encuentran en suficiente cantidad para llevar a cabo el número de ensayos requerido. Se sugieren las siguientes cantidades:

- (a) 4 litros (1 galón) de cemento asfáltico
- (b) 23 kgs (50 lbs) de agregado grueso o piedra
- (c) 23 kgs (50 lbs) de agregado fino o arena
- (d) 9 kgs (20 lbs) de filler mineral (cuando sea necesario).

Puede requerirse cantidades adicionales de materiales si éstos resultaran apreciablemente consumidos en las combinaciones granulométricas si se intentan varias combinaciones de agregados finos y gruesos.

Cada muestra de material debe ser identificada por la ubicación de la fuente, localización del proyecto y número de trabajo ó proyecto. Las muestras de cemento asfáltico deben estar en recipientes metálicos limpios y pequeños con tapas o cubiertas herméticas para evitar el recalentamiento de la masa total cada vez que la mezcla sea ensayada. Las muestras individuales de agregados deben estar en una bolsa de tejido cerrado, atado con alambre en forma segura.

El inspector debe compilar un listado de los ensayos a realizar. Estos deben figurar en su secuencia lógica y apropiada. Es importante que todos los ensayos especificados sean completados antes de empezar las pruebas de diseño. De esta manera se pueden eliminar de los estudios, fuentes de agregados no apropiados.

Preparación de las Mezclas de Ensayo

Los procedimientos generales para preparar las mezclas de ensayo están ilustrados en Figuras 1 a

4. El procedimiento general consiste en:

1. Secado de los agregados hasta peso constante
2. Tamizado en seco de los agregados en las fracciones de los tamaños deseados.
3. Pesado de los agregados que constituirán el pastón
4. Calentamiento de los agregados del pastón en estufa
5. Colocación de los agregados del pastón en el recipiente de mezclado
6. Adición de la cantidad prevista de asfalto caliente al recipiente de mezclado
7. Mezclado del agregado y asfalto juntos.

METODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS

Desarrollo y Aplicación

Los conceptos básicos del método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas fueron formulados por Bruce Marshall, un experto Ingeniero en asfaltos, junto con el Mississippi State Highway Department. El U.S. Corps of Engineers, a través de extensas investigaciones y estudios correlacionados, mejoró e incorporó ciertos aspectos a su procedimiento de ensayo desarrollándose finalmente un criterio de diseño de mezclas. Este ensayo ha sido normalizado por ASTM D 1559.

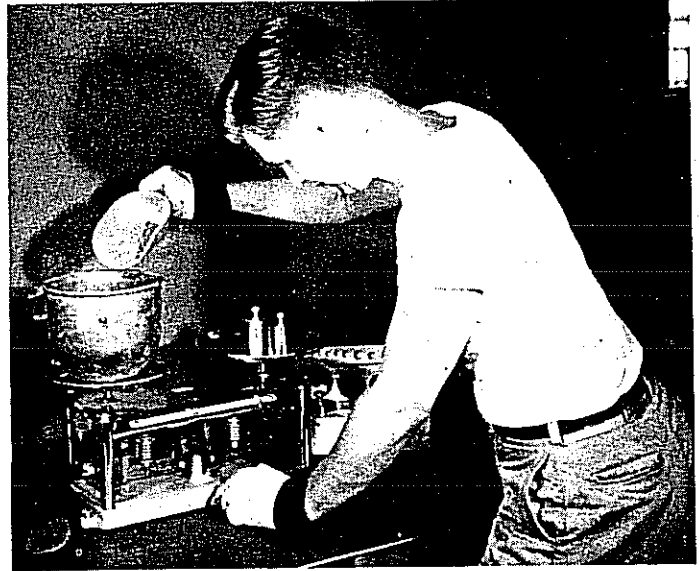


Figura 1. Pesaje de los agregados del pastón

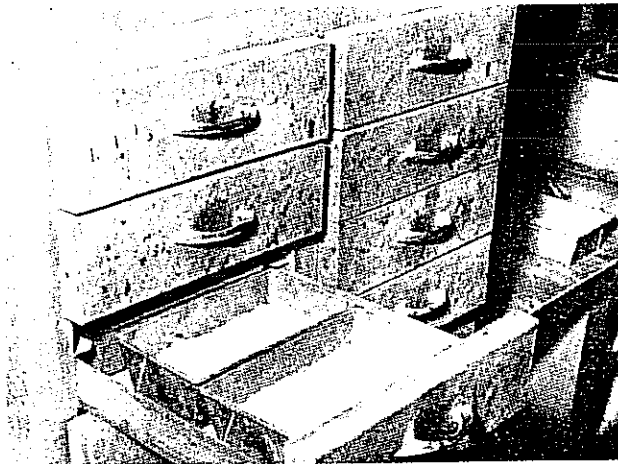


Figura 2. Calentamiento en la estufa de los agregados del pastón

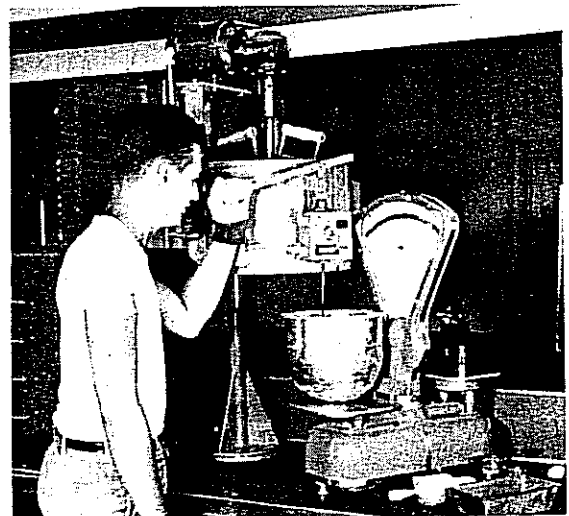


Figura 3. Adición de asfalto procedente de un calentador termostáticamente controlado

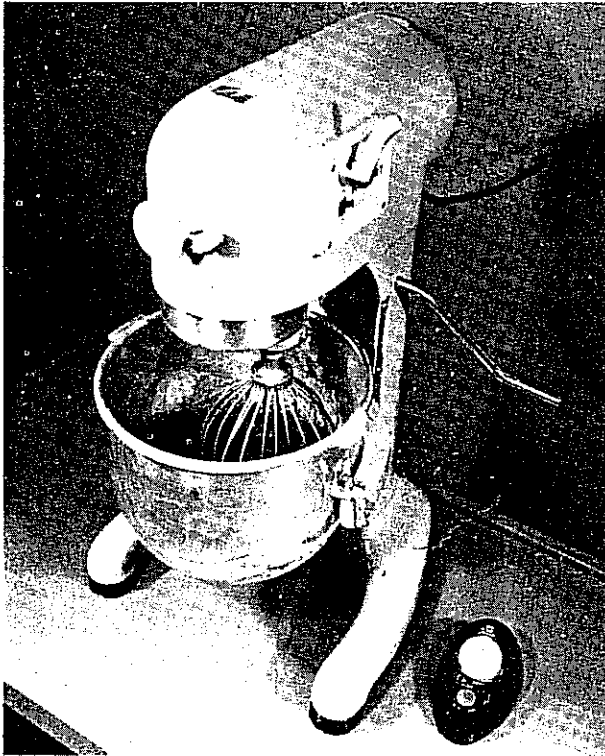


Figura 4. Mezcladora mecánica y mezclado del pastón de agregados y asfalto

El método Marshall es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que utilizan cemento asfáltico y agregados de granulometría cerrada o fina, con un tamaño máximo nominal de 25 mm (1") o menor. Se puede usar tanto para diseño de laboratorio como para el control de la mezcla durante la pavimentación. Los aspectos principales del ensayo son el análisis densidad-vacíos y el ensayo de estabilidad-fluencia, en muestras de mezclas asfálticas compactadas.

Esquema del método

Antes de la preparación de las muestras de ensayo se requiere:

1. Que los materiales cumplan con las especificaciones del proyecto.
2. Que la combinación de agregados cumpla con las exigencias de granulometría de las especificaciones del proyecto.
3. Que los pesos específicos de todos los materiales usados en el diseño de la mezcla sean conocidos o determinados.
4. El método Marshall de diseño de mezclas asfálticas, consiste en:
 - (a) Preparación de las muestras
 - (b) Determinación del peso específico bruto
 - (c) Ensayos de Estabilidad y Fluencia
 - (d) Análisis densidad-vacíos

En el método Marshall se usan probetas compactadas normalizadas de 102mm (4") de diámetro y 64mm (2 1/2") de altura. Se preparan usando un procedimiento establecido. Se determinan los pesos de las probetas compactadas antes de efectuar los ensayos.

Estas determinaciones son necesariamente el peso específico bruto y los cálculos posteriores.

La estabilidad de la probeta de ensayo es la máxima resistencia a las cargas, en Newtons (libras) desarrollada a 60°C (140°F). El valor de fluencia es el movimiento total, o deformación, en unidades de 0.25 mm (0,01") que sufre la probeta durante el ensayo, desde el momento en que empieza a ser cargada hasta alcanzar la carga máxima.

Se determina la densidad y vacíos para cada probeta y cuando los valores de todas las probetas han sido calculados, se selecciona un contenido de asfalto para el diseño, y los datos obtenidos sirven de guía para ensayos adicionales.

Preparación de las Muestras de Ensayo

El siguiente orden es el procedimiento a seguir para preparar las probetas de ensayo:

1. Número de las muestras.
2. Preparación de los agregados.
3. Determinación de la temperatura de mezclado y compactación
4. Preparación del molde y del pisón de compactación.
5. Preparación de las mezclas.
6. Compactación de las probetas y
7. Enfriamiento y extracción de las mismas.

Numero de muestras — Para la determinación óptima del asfalto, éste debe ser primeramente estimado. Se destina una serie de muestras de prueba para un rango de distintos contenidos de asfalto de manera tal que las curvas de resultados de los ensayos, muestren un valor óptimo bien definido. El contenido de asfalto debe variar en incrementos de 0.5% por lo menos con dos valores por encima y dos por debajo del valor óptimo. Para proveer datos adecuados se designan tres probetas para cada combinación de agregados y contenido de asfalto. Esto requiere alrededor de 23 kg. (50 lbs) de agregados y 4 litros (1 galón) de asfalto.

Preparación de los agregados — Los agregados son secados hasta peso constante de 105°C (221°F) a 110°C (230°F) separados por un tamizado por vía seca en las fracciones de los tamaños deseados. Se recomiendan las siguientes fracciones: 25,4 a 19,0 mm (1" a 3/4"), 19,0 a 9,5 mm (3/4" a 3/8"), 9,5 a 4,75mm (3/8" a N°4), 4,75 a 2,36mm (N°4 a N°8) y pasando 2,36mm (N°8).

Temperatura de mezclado y Compactación — Las temperaturas seleccionadas para el mezclado y la compactación, deben ser las que permitan una (a) viscosidad de mezclado de 170 ± 20 centistokes, y (b) viscosidad de compactación de 280 ± 30 centistokes.

Preparación del Molde y el Pisón de Compactación — El molde y el pisón de compactación deben estar totalmente limpios (Figura 5). Pueden ser calentados en un baño termostático o en una plancha caliente a una temperatura entre 93 y 149°C (200 y 300°F). El molde y el pisón de compactación se secan antes de ser usados y se inserta un pedazo de papel de filtro absorbente, cortado a medida en el fondo del molde antes de colocar la mezcla.

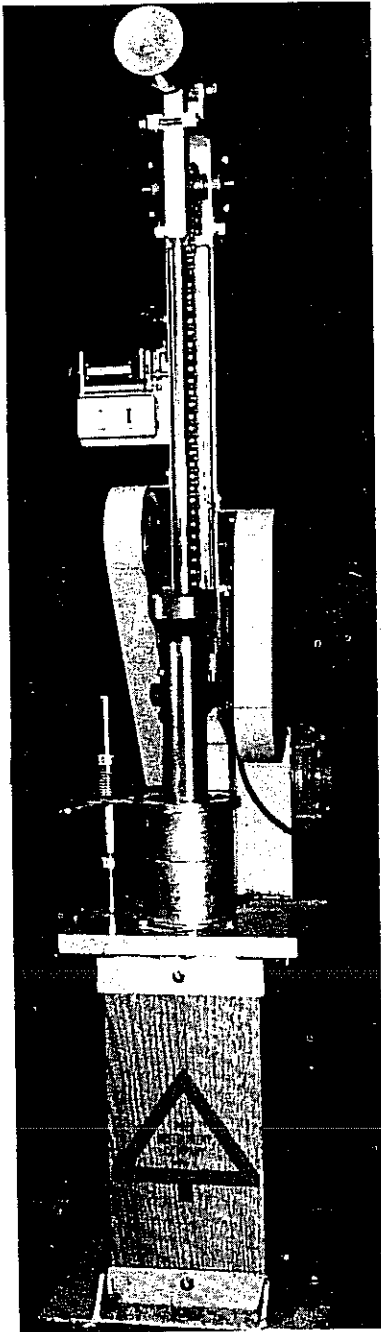


Figura 5. Pisón mecánico de compactación usado en la preparación de las probetas para el ensayo Marshall

Preparación de las mezclas — Se usan recipientes separados para cada probeta. Se pesa en bandejas la cantidad apropiada de agregado de cada fracción. La altura deseada de la probeta es $63,5 \pm 1,27\text{mm}$ ($2,5 \pm 0,05''$); ésto lleva comúnmente alrededor de 1200 grs. de agregado. Generalmente es conveniente preparar una probeta de prueba antes de la preparación de los pastones de agregados. Si la probeta de prueba tiene una altura que cae fuera de los límites, se requiere un ajuste en la cantidad de agregado.

Los agregados son calentados luego hasta 28°C (50°F) por encima de la temperatura de mezclado, deseada, antes de colocarlos en el recipiente, donde serán mezclados en caliente, disponiéndolos en forma de cráter. En este momento el agregado debe estar dentro de los límites de la temperatura establecida para el mezclado y listo para recibir el cemento asfáltico en caliente, que se coloca en el centro del cráter formado. El asfalto y el agregado son rápida y totalmente mezclados, preferiblemente con una mezcladora mecánica, hasta lograr una distribución homogénea del asfalto.

Compactación de las probetas — Se ensambla el molde y se coloca un papel de filtro en el fondo del mismo. Después de colocar el pastón en el molde, se aplican con una espátula caliente 15 golpes alrededor del perímetro y 10 en el centro. Se saca el collar de extensión y se alisa la superficie de la mezcla hasta lograr una forma ligeramente convexa. Antes de la compactación la temperatura de la mezcla debe estar dentro de los límites de temperatura de compactación fijados. Si el pastón se ha enfriado demasiado, debe ser descartado.

Se vuelve a colocar el collar de extensión y el molde ensamblado es colocado en el sujetador del pedestal de compactación. Se ubica el pisón en el aparato mecánico y se aplica el número de golpes prescrito (35, 50 ó 75). Luego se saca del sujetador el molde ensamblado. Se intercambian en el molde las posiciones de la base y del collar y se lo vuelve a colocar en el sujetador del pedestal. El mismo número de golpes se aplica a la otra cara de la probeta invertida.

Enfriamiento y Extracción — Después de la compactación se saca el plato de base y el collar y se deja enfriar la probeta al aire de manera tal de prevenir la deformación cuando es extraída del molde. Se puede promover un enfriamiento más rápido, con ventiladores de mesa soplando sobre molde y probeta.

La probeta enfriada es extraída del molde por medio de un gato extractor u otro dispositivo de compresión, y se la coloca en una superficie plana hasta que esté lista para ensayar. Normalmente las probetas se dejan enfriar toda una noche.

Procedimiento de ensayo

Cada probeta compactada es sometida a los siguientes ensayos y determinaciones en el orden indicado:

1. Peso específico bruto
2. Ensayo de Estabilidad y Fluencia; y
3. Determinación de la densidad y vacíos

Peso específico bruto — Las medidas de los pesos para la determinación del peso específico bruto pueden ser ejecutadas tan pronto como las muestras se hayan enfriado hasta la temperatura ambiente. El proceso general de este ensayo es el siguiente:

1. Peso de la probeta al aire (Figura 6)
2. Recubrimiento de la probeta con parafina fundida, si es necesario;
3. Peso de la probeta recubierta al aire;
4. Peso de la probeta recubierta o no, según el caso, sumergida en agua (Figura 7); y
5. Determinación del peso específico bruto (Ver (6) ó (7) de la Lección 2).

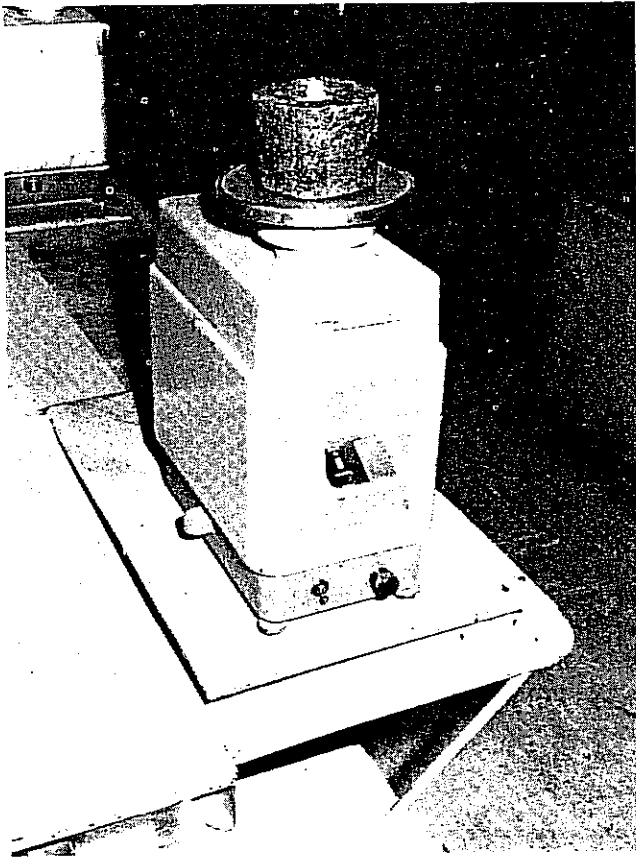


Figura 6. Pesaje al aire de la probeta de mezcla :
en caliente compactada
(Fotografía de G.A. Oldham, Dept. of Highways,
New Brunswick, Canada)

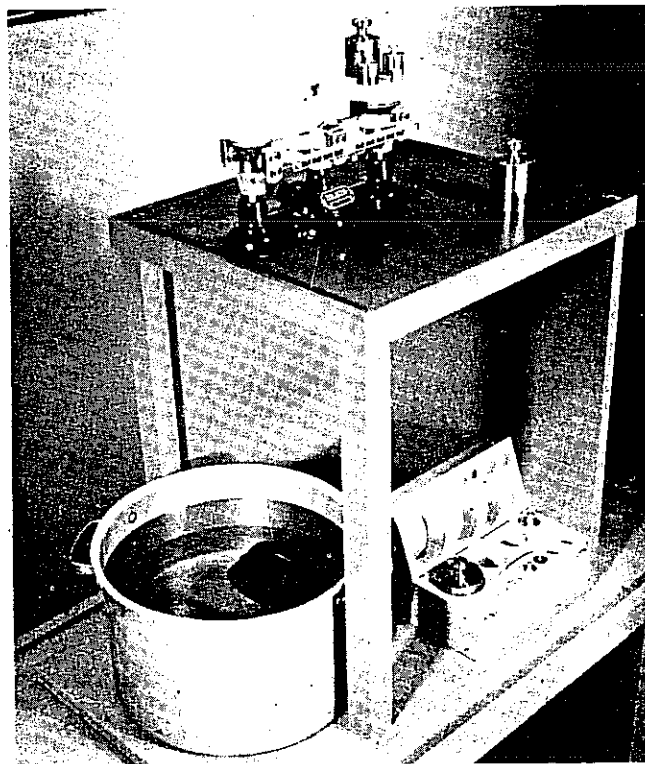


Figura 7. Pesaje en agua de la probeta de
mezcla en caliente compactada
(Fotografía de G.A. Oldham, Dept. Highways,
New Brunswick, Canada)

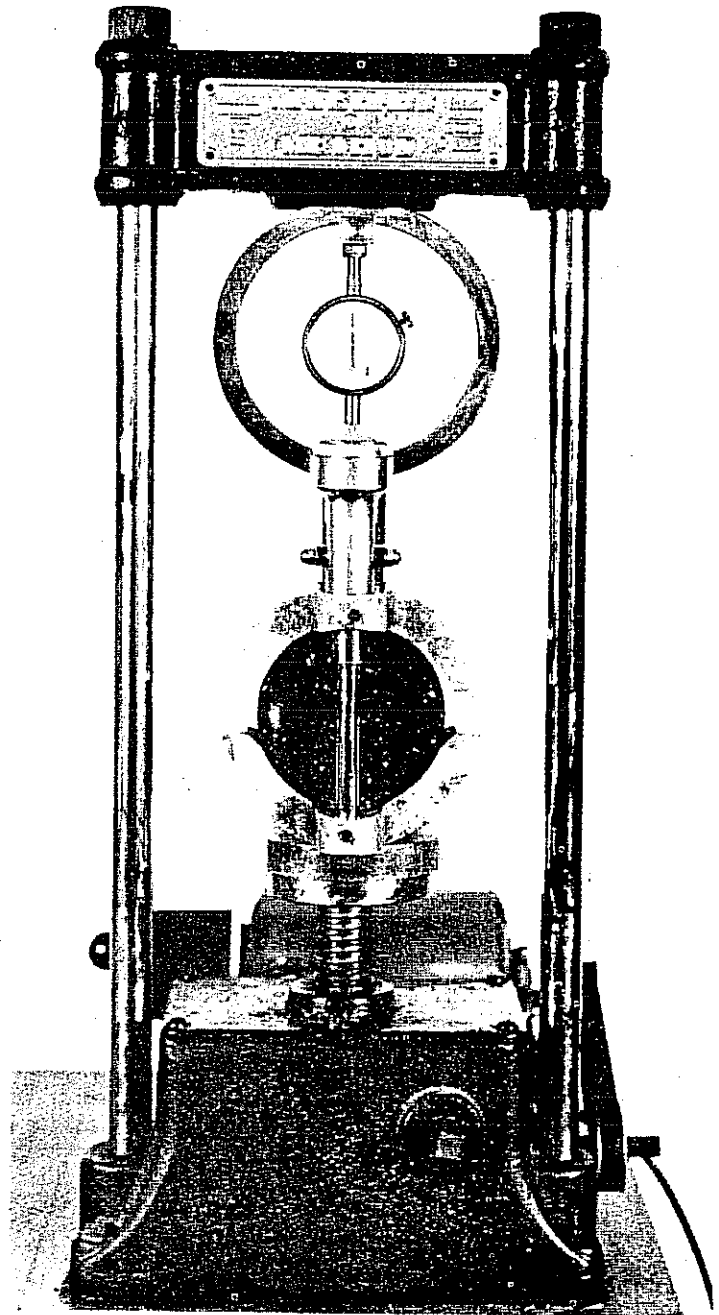


Figura 8. Ensayo de estabilidad y Fluencia Marshall

Ensayo de Estabilidad y Fluencia — El equipo para el ensayo de Estabilidad y Fluencia consiste en una máquina de ensayos Marshall (Figura 8) y un baño de agua. La máquina de ensayos Marshall es un artefacto de accionamiento eléctrico en el cual la carga de compresión es aplicada a la probeta a través de mordazas semicirculares a una velocidad de 51mm (2") por minuto. La magnitud de la carga es leída en un dial ajustado a un aro de carga calibrado. El medidor de la fluencia es calibrado o puesto en cero cuando el cilindro de metal de 101,6mm (4") de diámetro esté sobre la mordaza superior.

El procedimiento para el ensayo de estabilidad y fluencia es el siguiente:

1. Si se usa parafina como recubrimiento, sacar su exceso de la probeta.
2. Se calienta la probeta durante 30 a 40 minutos en un baño de agua a 60°C (140°F).
3. Se limpian las mordazas y se lubrican ligeramente las varillas guías.
4. Se saca la probeta del baño de agua y se seca cuidadosamente. Se coloca la probeta en la mordaza inferior y se inserta la mordaza superior. Las mordazas ensambladas se llevan a la máquina de ensayo (Figura 8) con el medidor de fluencia en posición.
5. La carga de ensayo se aplica a una velocidad de 51mm (2") por minuto hasta que se produce la falla. La falla ocurre cuando se observa la máxima carga. En este punto se toma la lectura del dial de carga y del medidor de fluencia; se saca éste de las varillas guías y se apaga el motor de la máquina de ensayo. (El proceso completo que abarca el período entre la extracción de las probetas del baño de agua hasta el momento de la falla debe ser realizada en menos de 30 seg.)
6. Se registran las lecturas del dial de carga y del medidor de fluencia. (La lectura del dial de carga se convierte en carga de compresión usando un diagrama de calibración para el aro de carga). La carga de compresión debe ser ajustada si la probeta no es de 63,5 ± 1,27mm (2,50 ± 0,05") de alto.

Serie de mezclas exper: 3-B
 52% A.G., 48% A.F.
 75 golpes de compact.

DATOS PARA DISEÑO DE LA MEZCLA EN CALIENTE POR EL METODO MARSHALL

Proyecto: F-003-4(2)
 Localizac.: Lewis-North
 Fecha: 17/7/1982

Peso esp. C.A.: 1,022
 Peso esp. seco prom. del agreg. total: 2,885

Grado de penet.: 85-100
 C.A., lbs/100lbs de agreg. seco: 0,16

Nº de lab. del asf. usado 61-205
 Nº de lab. del asf. usado 61-551; 61-552; 61-553

% CA Prob	% CA Prob	Agreg. Prob. (mm)	Peso-gramos			Volum. bruto cc	Peso Esp. Bruto Mezcla Comp.	Vacíos	a % VAM	Peso Unit. de Prob. (Mg/m³)	Estab. Lbs (N)		Fluencia 1:100" (0,325mm)
			en aire	en agua	sat. sup. seca						Medid.	Ajust. +	
4.17	4.0-A		1306.8	794.8		512.0	2.552				1790	1790	8
	B		1309.5	796.4		513.1	2.565				1810	1810	8
	C		1309.6	798.5		511.1	2.562				1850	1850	8
							2.559	5.2	14.8	159.7		1817	1817	8
4.71	4.5-A		1315.3	806.3		509.0	2.584				1900	1900	8
	B		1315.1	806.8		508.3	2.587				1735	1804	10
	C		1311.6	803.5		508.1	2.581				1810	1882	8
							2.584	3.5	14.5	161.2		1862	1862	9
5.24	5.0-A		1320.1	812.1		508.0	2.599				1875	1875	11
	B		1318.1	811.0		507.1	2.599				1900	1976	10
	C		1318.7	811.0		507.7	2.597				1740	1810	10
							2.598	2.1	14.4	162.1		1887	1887	10
5.82	5.5-A		1320.5	811.5		509.0	2.594				1785	1785	13
	B		1326.1	814.7		511.4	2.593				1685	1685	14
	C		1324.2	814.6		509.6	2.599				1685	1685	13
							2.595	1.4	15.0	161.9		1718	1718	13
6.38	6.0-A		1326.6	813.6		514.0	2.583				1490	1490	17
	B		1320.7	815.4		515.3	2.582				1440	1440	17
	C		1329.3	814.4		514.9	2.582				1580	1580	17
							2.582	1.1	15.9	161.1		1503	1503	17

* Mg/m³ = 0,016018 lb/pie³
 ** N = 4,448 lbs

+ Ver tabla 2

Inspector

Figura 9. Modelo sugerido de informe mostrando los datos del ensayo para un diseño típico mediante método Marshall

176

Análisis Densidad y Vacíos — Luego de completar el ensayo de estabilidad y fluencia, se determinan la densidad y vacíos para cada serie de probetas; el procedimiento se describe brevemente:

1. Se determina el promedio de los pesos específicos para cada contenido de asfalto. Los valores individuales de las probetas de ensayo que son evidentemente incorrectos son descartados. Esto constituye el peso específico promedio de las probetas con un contenido dado de asfalto que es usado para las determinaciones restantes de pesos y volúmenes.

2. Se determina el porcentaje de asfalto absorbido, usando el peso específico máximo de la mezcla asfáltica (ASTM D 2041) y el peso específico bruto del agregado. Se expresa como un porcentaje del peso de los agregados. Si se va a realizar un análisis exacto de los vacíos, debe tenerse en cuenta este asfalto absorbido.

3. El análisis de densidad-vacíos se realiza mediante procedimientos ya indicados.

Preparación de los Datos

Los valores de estabilidad y fluencia y los datos de los vacíos se preparan de la siguiente manera:

1. Los valores de estabilidad medidos para probetas que no tienen 63,5mm de altura, (volumen 509-522ml) deben ser convertidos a un valor equivalente a la estabilidad de una probeta de 63,5 mm de altura mediante un factor de corrección y anotados en el informe del ensayo.

2. Los valores de fluencia como así los valores de estabilidad de todas las probetas de un determinado contenido de asfalto son promediados. Obviamente, los valores incorrectos no se incluyen en el promedio.

3. Se preparan gráficos en los que se diagraman los siguientes valores en función del contenido de asfalto:

Estabilidad

Fluencia

Peso Unitario de la mezcla total

Porcentaje de vacíos

Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM).

En cada diagrama, los valores se relacionan con una curva de la que se obtiene el mejor ajuste para todos los valores.

Interpretación de Resultados

El contenido óptimo de asfalto de la mezcla para pavimentación se determina por los datos graficados. El contenido óptimo de asfalto debe producir:

(a) Óptima o adecuada estabilidad

(b) Peso unitario máximo, y

(c) Límites medios para el porcentaje de vacíos (generalmente para mezclas de capas superficiales).

Tamices U.S.A. Standard	Tamaño máximo Nominal de la partícula [†]		Volumen mínimo de vacíos en el agregado mineral por ciento
	mm*	plg.*	
1.18 mm	1.18	0.0469	23.5
2.36 mm	2.36	0.093	21
4.75 mm	4.75	0.187	18
9.5 mm	9.5	0.375	16
12.5 mm	12.5	0.500	15
19.0 mm	19.0	0.750	14
25.0 mm	25.0	1.0	13
37.5 mm	37.5	1.5	12
50 mm	50	2.0	11.5
63 mm	63	2.5	11

[†] Especificaciones standard para tamices de ensayo de tejido metálico, ASTM E11 (AASHTO M 92)
[‡] Para agregados procesados, el tamaño máximo nominal es el tamiz, de mayor abertura sobre el cual se permite que algún material quede retenido

Figura 11. Porcentaje mínimo de vacíos del agregado mineral (VAM).

TABLA 3
CRITERIO DE DISEÑO MARSHALL

Criterio de diseño Marshall ¹	Tránsito liviano ²		Tránsito medio ²		Tránsito pesado ²	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Compactación N ^o de golpes por cara	35		50		75	
Estabilidad N* (lb.)	2 224 (500)	—	3 336 (750)	—	6 672 (1 500)	—
Fluencia, 0,25mm (0.01")	8	20	8	18	8	16
Vacíos (%)	3	5	3	5	3	5
Vacíos del agreg. mineral -VAM- (%)	(Ver Fig. 11)					

¹ El criterio es aplicable sólo cuando el ensayo se realiza en concordancia con los métodos descritos en la publicación del Asphalt Institute, *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types (MS-2)*. Todo el criterio, no solamente la estabilidad debe ser considerado en el diseño de una mezcla asfáltica para pavimentación.

Las bases asfálticas con mezclas en caliente que no cumplen con estos criterios cuando se ensayan a 60°C (140°F) son satisfactorias si cumplen con el criterio al ser ensayadas a 38°C (100°F) y si son colocadas a 10cm (4") o más por debajo de la superficie. Esta recomendación se aplica solo a regiones que tienen condiciones climáticas similares a aquellas que prevalecen en la mayor parte de los EE.UU. Puede considerarse una temperatura de ensayo más baja en regiones que tienen condiciones climáticas más extremas.

² Clasificación del tránsito (Ver tema J).

Liviano: condiciones del tránsito resultantes en Design EAL

Mediano: condiciones del tránsito resultantes en Design EAL entre 10⁴ y 10⁵.

Pesado: condiciones del tránsito resultantes en Design EAL 10⁶

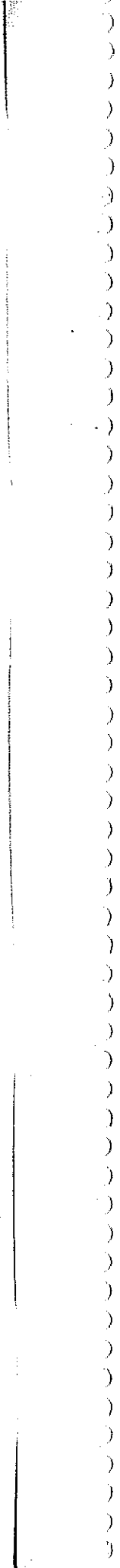
N* : Newton.

LECCION 4

2 – METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

Objetivo: Describir el método Hveem de diseño de mezclas.

METODO HVEEM DE DISEÑO DE MEZCLAS	D45
Desarrollo y aplicación	D45
Esquema del método	D45
Ensayo del equivalente centrífugo de Kerosene (ECK)	D46
Preparación de las probetas de ensayo.....	D52
Procedimientos de ensayo	D55
Interpretación de resultados	D58



LECCION 4

2 - METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS

INTRODUCCION

El método Marshall de diseño de mezclas fue descrito en la Lección anterior. En esta sección se tratará el método Hveem de diseño de mezclas.

METODO HVEEM DE DISEÑO DE MEZCLAS

El método Hveem de diseño de mezclas es un procedimiento de laboratorio basado en dos propiedades de la probeta compactada: cohesión y fricción. Antes de la medición de la fricción con el estabilómetro, se determinan la densidad y los vacíos de la mezcla compactada. El estabilómetro es un aparato con el cual se aplican cargas verticales y se miden las presiones laterales resultantes.

Desarrollo y Aplicación

El método Hveem fue desarrollado y elaborado bajo la dirección de Francis N. Hveem experimentado ingeniero en Materiales e Investigaciones de la California División of Highways. El procedimiento de ensayo y su aplicación han sido desarrollados a través de intensas investigaciones y estudios de correlación en pavimentos asfálticos. El método es aplicable a mezclas para pavimentación que usan betún asfáltico y agregados con un tamaño máximo nominal de 25mm (1").

El procedimiento de diseño de mezclas por el método Hveem está descrito en el volumen 1, *Materials Manual, Testing and Control Procedures*. State of California, Dept. of Public Works, Division of Highways; y ASTM D 1560 y D 1561.

Principalmente usado para el diseño en laboratorio de mezclas para pavimentos de granulometría cerrada, el método Hveem puede ser usado además para el control en obras de pavimentación con mezclas calientes.

Esquema del Método

Antes de la preparación de las probetas se debe asegurar que:

los materiales cumplan con las exigencias especificadas en el proyecto

la combinación de agregados cumpla con los requerimientos granulométricos de las especificaciones correspondientes.

exista una amplia reserva de agregado seco, separado en fracciones.

Para el diseño de mezclas por medio del método Hveem, se define como agregado grueso aquél retenido en el tamiz de 4,75 mm (N^o4) y el agregado fino como la porción que pasa dicho tamiz.

Los ítems del método Hveem incluyen:

1. Ensayo de equivalentes centrífugo de Kerosene (ECK)
2. Preparación de las probetas usando el compactador-amasador.
3. Ensayo con el estabilómetro
4. Ensayo de hinchamiento
5. Análisis densidad y vacíos

En el método Hveem se usan probetas normalizadas de 101,6mm (4") de diámetro y 63.5mm (2 1/2") de altura. El Equivalente Centrífugo de Kerosene (ECK) es un ensayo que se realiza sobre el agregado, para estimar el contenido de asfalto de la mezcla. En el estabilómetro se emplea una celda especial del tipo utilizado para el ensayo triaxial para medir la resistencia al desplazamiento

lateral de la mezcla compactada bajo cargas verticales. El ensayo de hinchamiento mide la resistencia de la mezcla a la acción del agua.

Ensayo del Equivalente Centrífugo de Kerosene

La determinación del contenido óptimo estimado de asfalto mediante el ensayo del Equivalente Centrífugo de Kerosene (ECK) es el primer paso a dar en el método Hveem de diseño de mezclas. El implemento principal del equipo es una centrífuga (Figura 1). Con el área superficial calculada y con los factores obtenidos por el método (ECK) se determina el contenido óptimo aproximado de asfalto usando una serie de diagramas (El procedimiento para la determinación del área superficial de una combinación de agregados particulares fue explicado en Tema C).



Figura 1. Aparato para el ensayo ECK del método Hveem

El método ECK se realiza de la siguiente manera:

1. Dos muestras de agregado fino, que pasa el tamiz de 4,75mm (N^o4) son colocadas en tazas centrífugas provistas de pantallas y papel de filtro.
2. Las tazas con el agregado se llenan con kerosene hasta que el agregado comienza a estar saturado.
3. Las muestras saturadas son centrifugadas durante 2 minutos con una fuerza equivalente a 400 veces la gravedad.
4. Se determina por pesada, la cantidad de kerosene retenido y se expresa como porcentaje en peso, del agregado seco. Este valor se denomina ECK.
5. Dos muestras de agregado seco que pasa el tamiz de 9,5mm (3/8") y retenido en el tamiz de 4,75mm (N^o4) se colocan en embudos, de vidrio.
6. Las muestras y los embudos son inmersos en vasos de boca ancha que contienen aceite lubricante SAE N^o 10 a temperatura ambiente, durante 5 minutos.
7. Se sacan las muestras y los embudos y se los deja drenar durante 15 minutos a 60°C (140°F)

8. La cantidad de aceite retenido se determina mediante pesadas. Dicha cantidad se expresa como porcentaje del peso total del agregado seco.

9. La constante de superficie K_f se determina usando el valor ECK y el peso específico del agregado fino, usando el diagrama de la Figura 2.

10. La constante de superficie K_c se determina usando el valor de aceite retenido, y el peso específico del agregado grueso usando el diagrama de la Figura 3.

11. El valor K_m se determina luego con los valores K_f y K_e , con el área superficial del agregado y con el porcentaje de agregado grueso del diagrama de la Figura 4.

12. El contenido aproximado de asfalto de la mezcla basado en un asfalto líquido de propiedades específicas, se determina usando el ECK, el área superficial calculada, el peso específico aparente de los agregados y la constante de superficie K_m del diagrama, Figura 5. Hay dos procedimientos posibles, que dependen de las características de superficie y de absorción.

13. El contenido de betún asfáltico de la mezcla es determinado para el grado seleccionado usando el área superficial calculada y la proporción de aceite encontrada en Figura 5, según el diagrama de Figura 6.

El siguiente ejemplo muestra el uso de los diagramas: Se suponen las siguientes condiciones aplicadas a una mezcla asfáltica para pavimentación con un betún asfáltico, AC-10.

Peso específico del agregado grueso, retenido en el tamiz de 4,75mm (N ^o 4)	= 2.45
Peso específico del agregado fino	= 2.64
Porcentaje que pasa tamiz de 4,75 (N ^o 4)	= 45
Peso específico promedio	= 2.53
Area superficial de los agregado graduados	= 6.6 m ² /kg (32.4 ft. ² /lb)
ECK	= 5.6
Porcentaje de aceite retenido	= 1.9
K_f , de Figura 2	= 1.25
K_c , de Figura 3	= 0.8
K_m , de Figura 4	= 1.15
Aceite retenido de un asfalto diluido (usando Caso II), de Figura 5	= 5.2%
Contenido óptimo de asfalto, de Figura 6	= 6,1% en peso de agregado seco

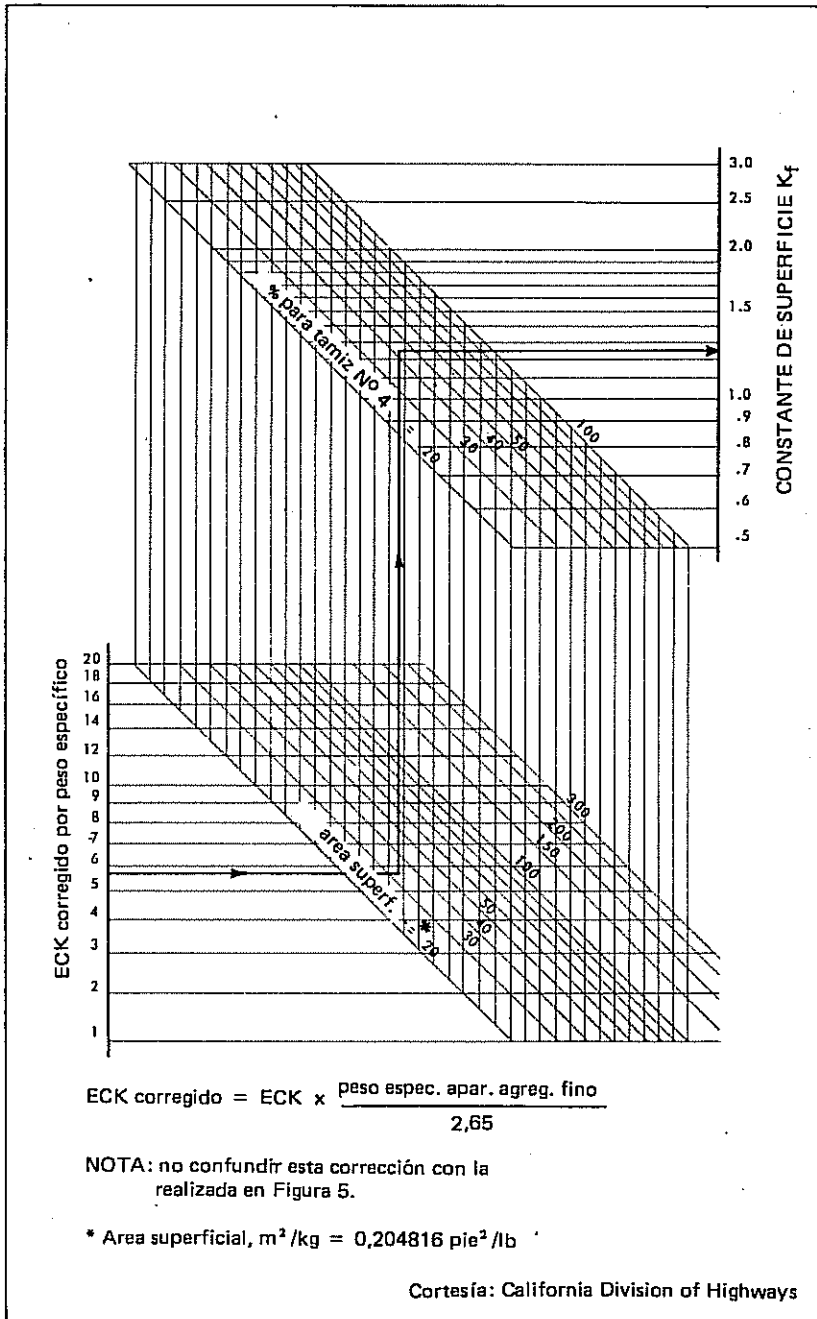


Figura 2. Diagrama para la determinación de la constante K_f para material fino, a partir del ECK Método Hveem de diseño de mezclas

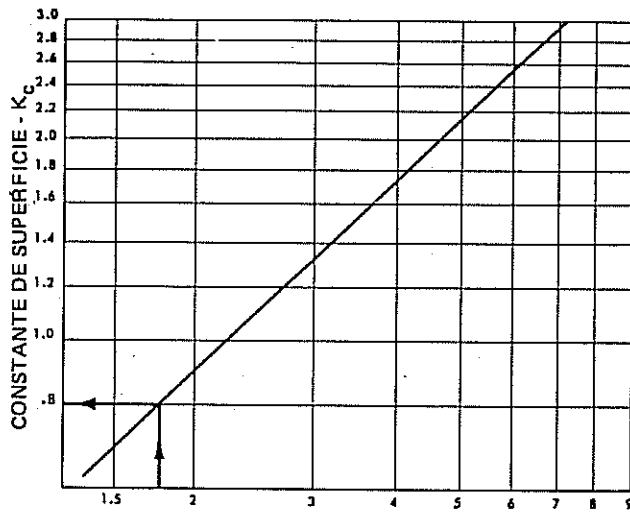


Figura 3. Diagrama para determinar la constante K_c para material grueso debido a la absorción del agregado grueso Método Hveem de diseño de mezclas
Cortesía de California Division of Highways)

Porcentaje de aceite retenido, corregido por el peso específico del agregado.

Material usado: agregado que pasa 9,5mm (3/8") retenido en tamiz de 4,75mm (Nº4)
Aceite SAE 10

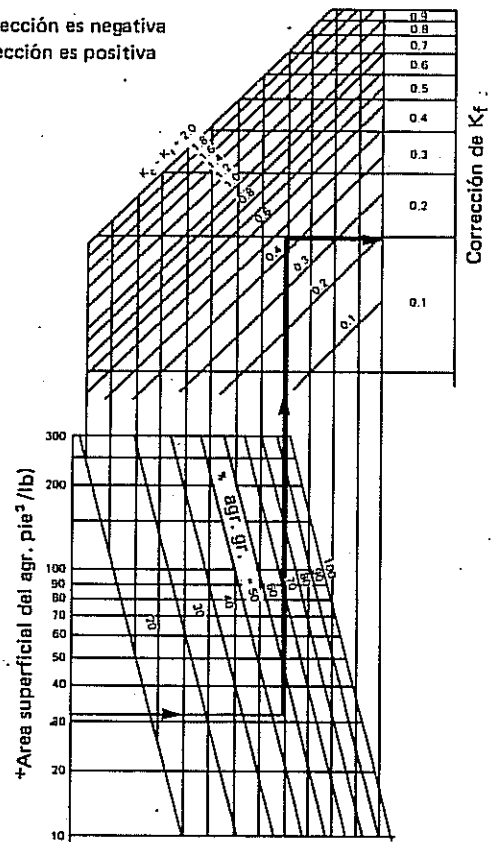
$$\% \text{ Aceite retenido} = \text{aceite retenido} \times \frac{\text{peso esp. apar. agreg. gr.}}{2,65}$$

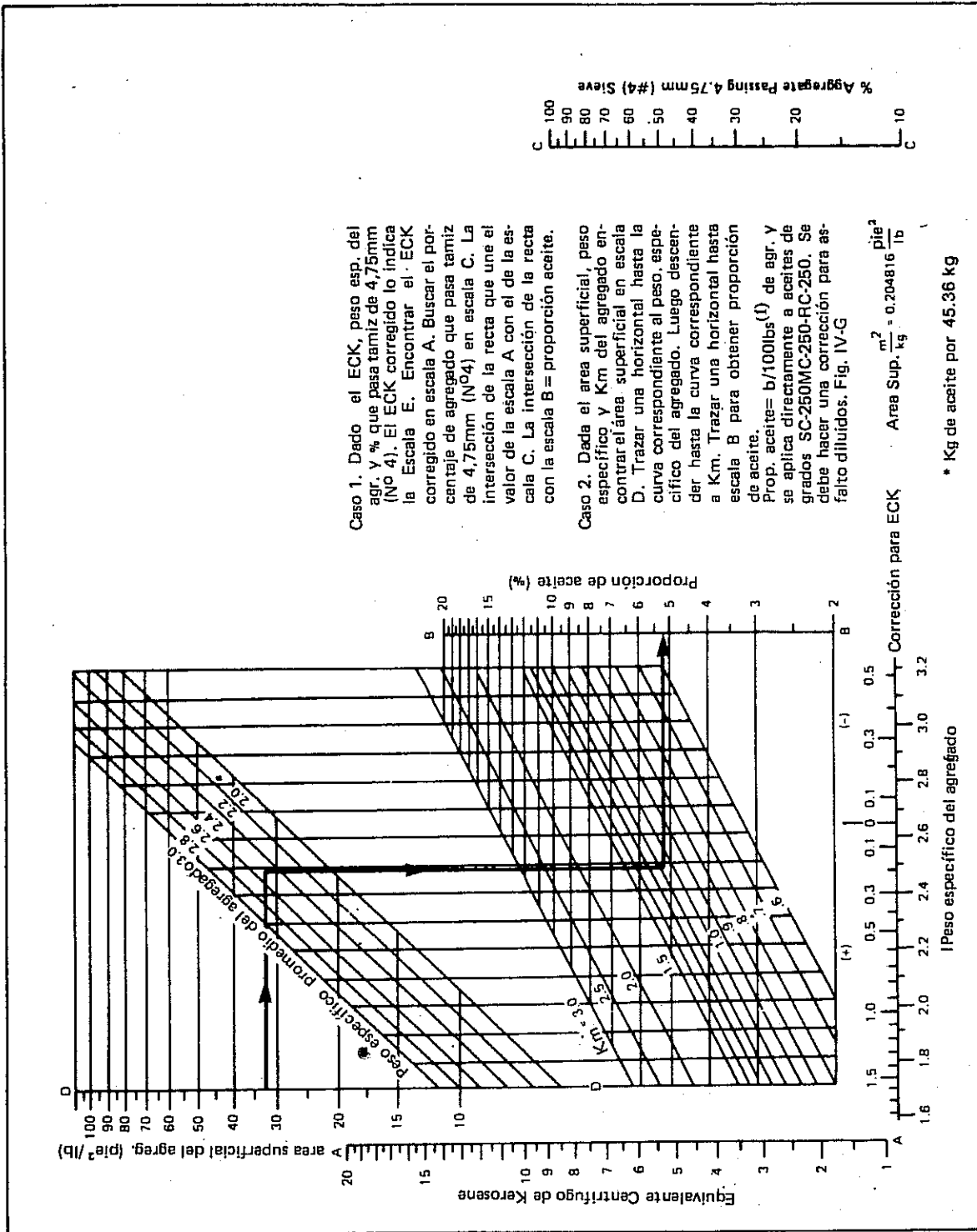
Si $(K_c - K_f)$ es negativo, la corrección es negativa
Si $(K_c - K_f)$ es positiva, la corrección es positiva
 $K_m = K_f + \text{corrección}, K_f$

$$^* \text{Area superf. } \frac{m^2}{kg} = 0,204816 \frac{pie^2}{lb}$$

Figura 4. Diagrama para la combinación de K_f y K_c y determinación de la constante de superficie K_m del agregado combinado, Método Hveem de diseño de mezclas
Cortesía de California División of Highways)

$$^* \text{Area superficial, } \frac{m^2}{kg} = 0,204816 \frac{pie^2}{lb}$$





Caso 1. Dado el ECK, peso esp. del agr. y % que pasa tamiz de 4,75mm (No 4). El ECK corregido lo indica la Escala E. Encontrar el ECK corregido en escala A. Buscar el porcentaje de agregado que pasa tamiz de 4,75mm (No 4) en escala C. La intersección de la recta que une el valor de la escala A con el de la escala C. La intersección de la recta con la escala B = proporción aceite.

Caso 2. Dada el area superficial, peso específico y Km del agregado encontrar el area superficial en escala D. Trazar una horizontal hasta la curva correspondiente al peso específico del agregado. Luego descender hasta la curva correspondiente a Km. Trazar una horizontal hasta escala B para obtener proporción de aceite.
 Prop. aceite = $b/100 \text{ lbs} (l)$ de agr. y se aplica directamente a aceites de grados SC-250/MC-250-RC-250. Se debe hacer una corrección para asfalto diluidos. Fig. IV-G

Area Sup. $\frac{m^2}{kg} = 0.204816 \frac{pie^2}{lb}$

* Kg de aceite por 45.36 kg

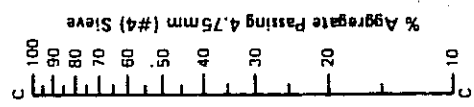
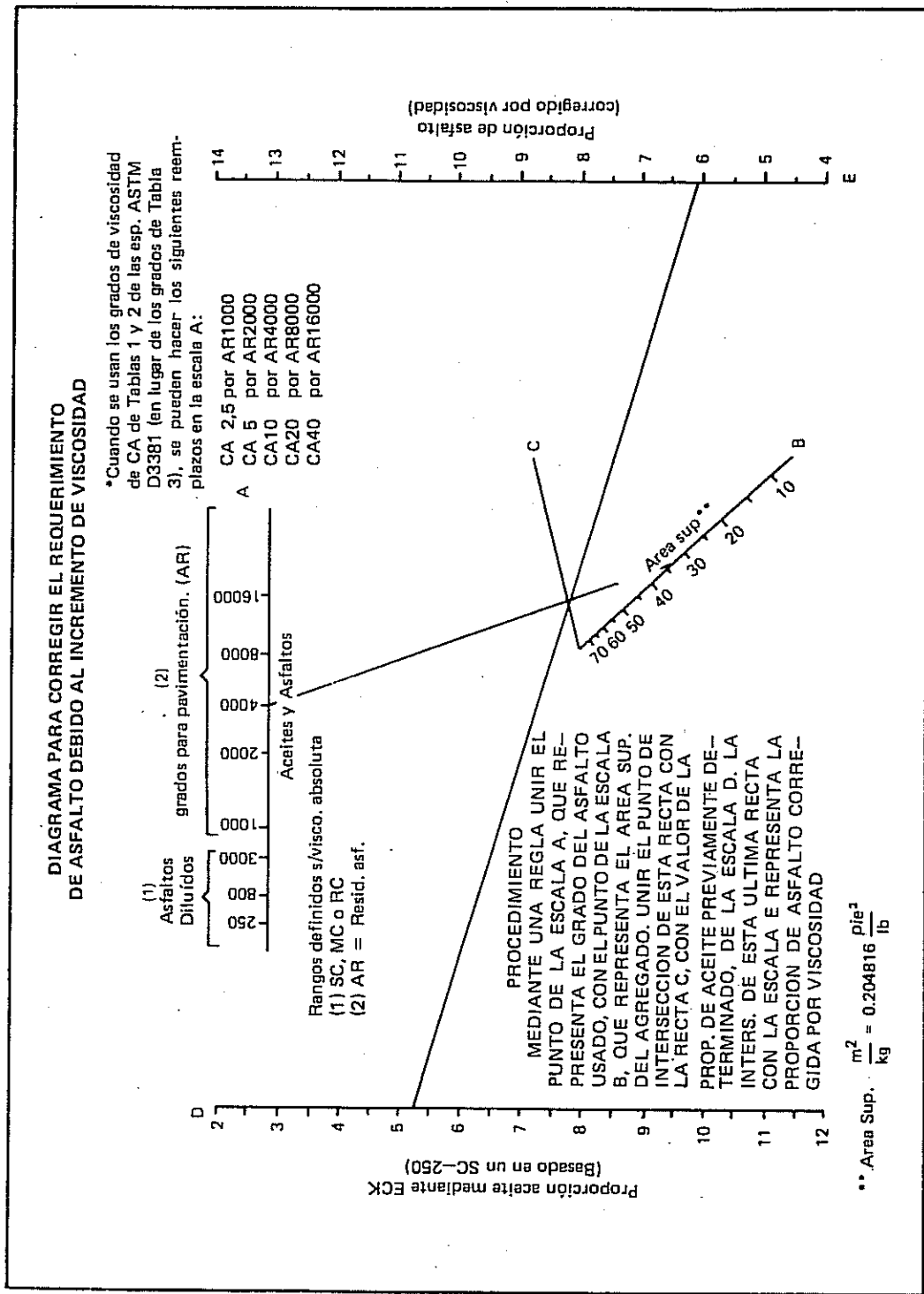


Figura 5. Diagrama para el cómputo de la proporción de aceite para mezclas bituminosas de granulometría cerrada, Método Hveem de diseño de mezclas



(Diagrama por cortesia de California Division of Highways)

Figura 6. Diagrama para la corrección del requerimiento de asfalto debido al incremento de viscosidad o a una disminución de la penetración, Método Hveem de diseño de mezclas

Preparación de las Probetas de Ensayo

Se prepara una serie de probetas para ensayar con el estabilómetro. Para los problemas normales de diseño de mezclas, se preparan tres probetas con el contenido de asfalto óptimo estimado cada una con 0,5% por encima y por debajo del óptimo estimado.

La pieza principal del equipo es un compactador mecánico que amasa la muestra al compactarla (Figura 7). La probeta es compactada por una serie de cargas individuales realizadas por un pisón especialmente conformado (Figura 8), el cual es capaz de ejercer una presión de 3,45MPa (500 lb/pulg²) y mantenerla durante 0.4 segundos.

Los pastones se preparan de manera similar a la ya descrita. Dos de las probetas preparadas con el contenido de asfalto óptimo estimado se emplean para el ensayo de hinchamiento. Para este ensayo, el pastón se prepara con 1000 grs. de agregado. Los otros pastones se usan para las muestras compactadas de 101,6mm (4") de diámetro y 63,5mm (2 1/2"), o sea alrededor de 1200 grs. de agregado. La temperatura a la cual se mezclan los pastones depende del tipo de asfalto usado, pero estará entre 107°C (227°F) y 163°C (325°F).

Después que los pastones han sido mezclados, se colocan en una estufa de tiro forzado, por un período de 15 hs. a 60°C (140°F). Después del curado, el pastón se recalienta a 110°C (230°F) antes de estar listo para la compactación.

Las probetas para el ensayo de hinchamiento se preparan de la siguiente manera:

1. El molde de compactación se reviste con una tira de papel parafinado, aplicada mientras está caliente.
2. El molde de compactación se coloca en posición en el sujetador. Luego se le calza el plato de base de manera tal que este pueda actuar como un émbolo de calce libre
3. Se pesan 1000 grs. de pastón en una artesa aislada de alimentación, que ha sido precalentada a 110°C (230°F).
4. Se transfiere aproximadamente la mitad de la mezcla al molde de compactación (Figura 9) utilizando una paleta especial.
5. Tal porción es penetrada con una varilla 20 veces en el centro y 20 veces alrededor del borde (Figura 10).
6. Se coloca el resto del pastón en el molde y se repite el procedimiento de penetración con la varilla.
7. El molde ensamblado es colocado en el compactador mecánico y se le aplica a la muestra 20 golpes de apisonamiento a 1,7MPa (250lb/pulg²) para compactar parcialmente la muestra.
8. Se saca la calza de abajo del molde y se aflojan los tornillos para permitir un movimiento libre del molde hacia arriba y abajo.
9. La compactación se completa después de aplicar 150 golpes del pisón de 3,4MPa (500 lb/pulg²).
10. El molde y la probeta son sacados del compactador. Se invierte el molde y se empuja la probeta al extremo opuesto. Se aplica luego una carga estática de 6.9MPa (1000 lb/pulg²) a una velocidad de 0,1mm/seg. (0,25"/min.) con el extremo original del molde sostenido por la platina más baja de la prensa. Se mide y registra la altura de la probeta.

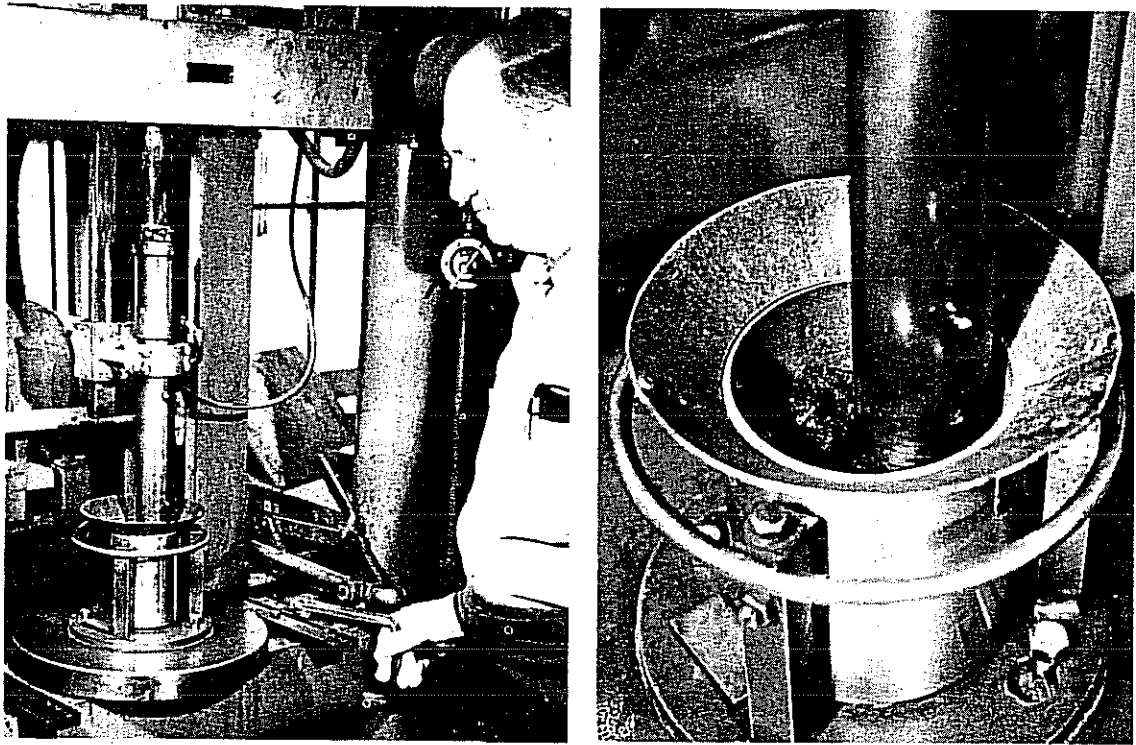


Figura 7. Compactador-amasador mecánico para la preparación de las probetas de ensayo.

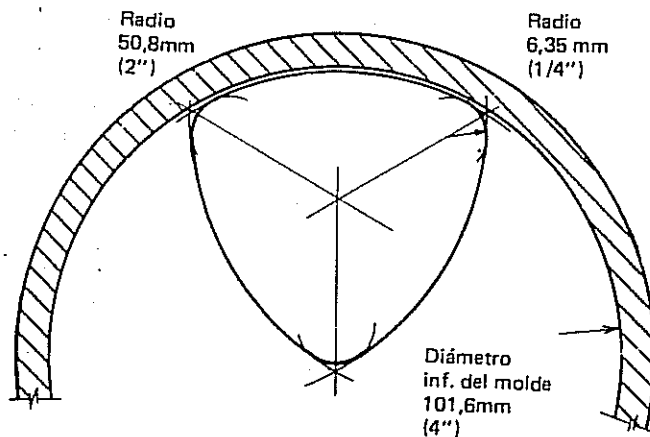


Figura 8. Diagrama del pisón del compactador-amasador mecánico



Figura 9. Colocación de la mezcla en el molde

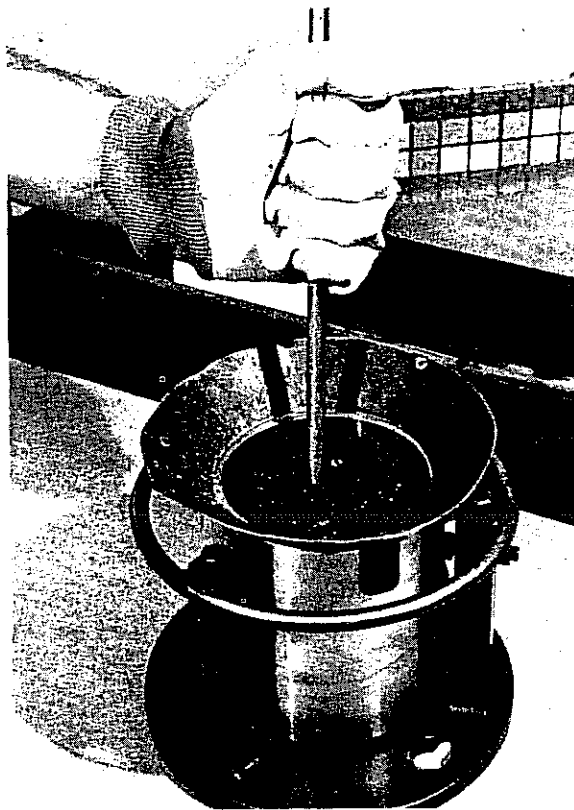


Figura 10. Varillado de la mezcla en el molde

Para las muestras del estabilómetro, el procedimiento de compactación es el mismo, excepto que:

1. No se usa revestimiento dentro del molde y éste es precalentado hasta aproximadamente la temperatura de compactación de la muestra.

2. Cuando se completa la compactación, se colocan molde y probeta en una estufa a 60°C (140°F) durante 1,5 hs. Después de ello, se aplica una carga de $6,9\text{MPa}$ (1000 lbs/pulg^2) mediante el método de compactación a doble pistón (con una velocidad de desplazamiento de $0,1\text{ mm/seg}^2$ ($0,25''/\text{min.}$)) y luego se descarga inmediatamente.

Procedimiento de Ensayo

Las probetas compactadas son usadas para los siguientes ensayos dados en el orden en que generalmente se realizan:

- (a) ensayo de hinchamiento.
- (b) ensayo de estabilidad.
- (c) determinación del peso específico bruto.

Ensayo de hinchamiento — El procedimiento para el ensayo de hinchamiento se esquematiza de la siguiente manera:

1. Se deja que las probetas se estabilicen a la temperatura ambiente por lo menos una hora.
2. El molde y las probetas se colocan en una bandeja de aluminio (Figura 11).
3. Se coloca un disco de bronce perforado sobre la probeta, se ubica sobre el molde un trípode con un dial indicador y con vástago que permita recorrer 2,54 mm (0,1") (Figura 11).
4. Se colocan 500 ml de agua sobre la cara superior de la probeta, y se mide la distancia entre la superficie de agua y dicha cara.
5. Se lee el dial después de 24 hs. y se redondea la lectura a los 0,025 mm (1/1000") más cercanos. La diferencia de niveles de agua se registra como la permeabilidad.

Ensayo en el estabilómetro — El procedimiento para el ensayo en el estabilómetro es el siguiente:

1. Las probetas compactadas en el molde son calentadas en estufa a 60°C durante una hora como mínimo.
2. Se ajusta la máquina de compresión para una velocidad de desplazamiento de 0,02 mm/seg (0,05"/min.).
3. Se revisa el desplazamiento del estabilómetro con un patrón metálico simulador y si es necesario, se corrige.
4. Se ajusta la plataforma (Figura 12) de manera tal que un diafragma de goma de 61mm (2,4") ajuste efectivamente la probeta.
5. Se saca el molde con la probeta de la estufa y usando un émbolo, la probeta es forzada a salir del mismo y pasar al estabilómetro.
6. Se coloca el pistón sobre la cara superior de la probeta y se ubica la pieza ensamblada en la máquina de compresión (Figura 13).
7. La presión en el sistema del estabilómetro se establece en 34,5 kPa (5 lb/pulg²), usando una bomba de desplazamiento.
8. Se aplica la carga de ensayo con la máquina de compresión usando una velocidad de 0,02mm/seg. (0,05"/min). Se registran las presiones laterales a través de las lecturas del manómetro para las siguientes cargas: 2,2 kN (500 lb); 4,45 kN (1000 lb); y cada 4.45 kN (1000 lb) hasta llegar a los 26.69 kN (6000 lb).
9. Cuando se alcanza la carga de 26.69 kN (6000 lb) se descarga hasta los 4.45 kN (1000 lb). Se ajusta nuevamente el manómetro en 34.5 kPa (5 lb/pulg²).
10. Se ajusta el indicador del dial de la bomba a cero y la bomba de desplazamiento se lleva rápidamente hasta registrar una presión de 690 kPa (100 lb/pulg²). El número de revoluciones necesarias para alcanzar los 690 kPa (100 lb/pulg²) se registra como el desplazamiento, D₂.

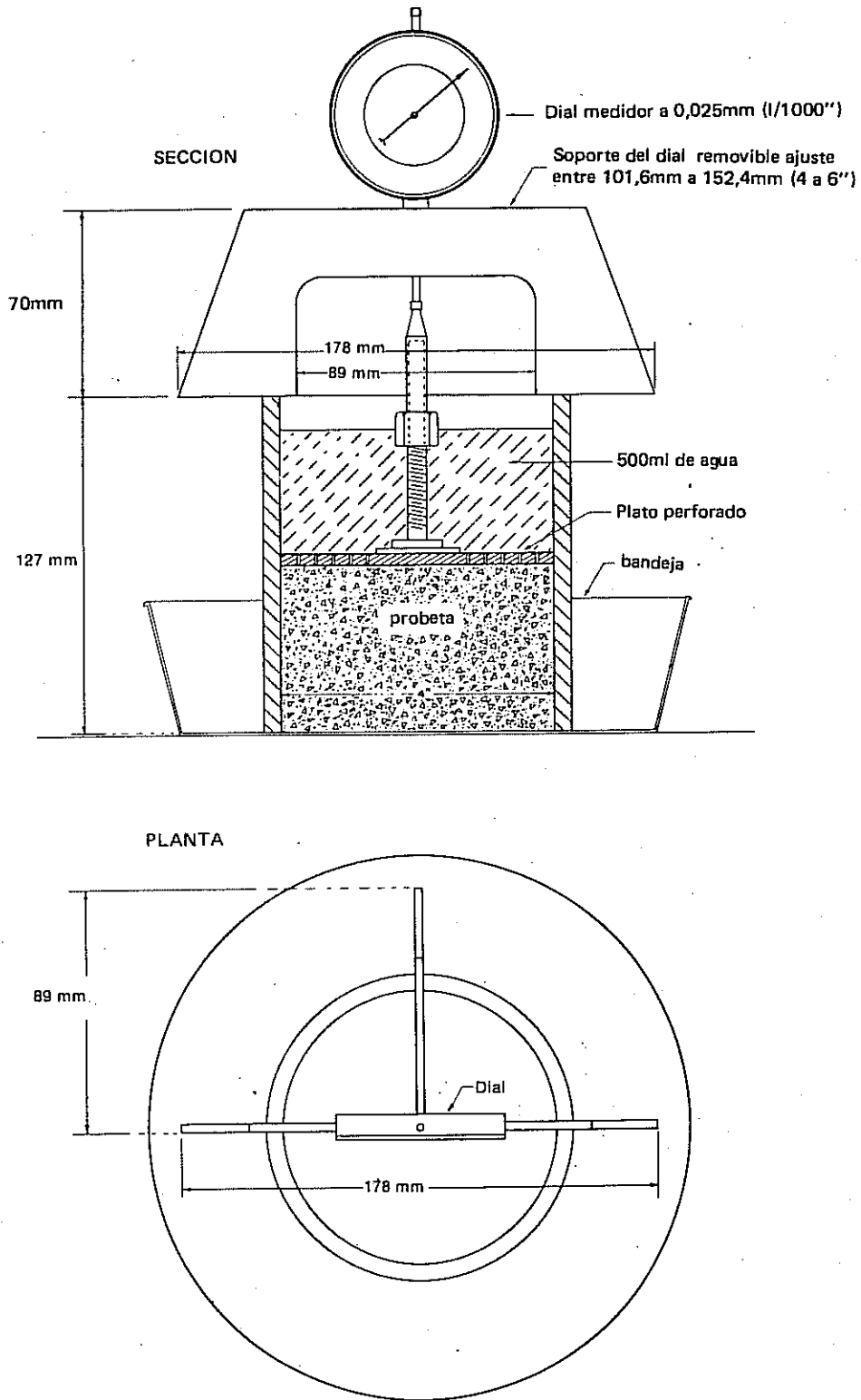
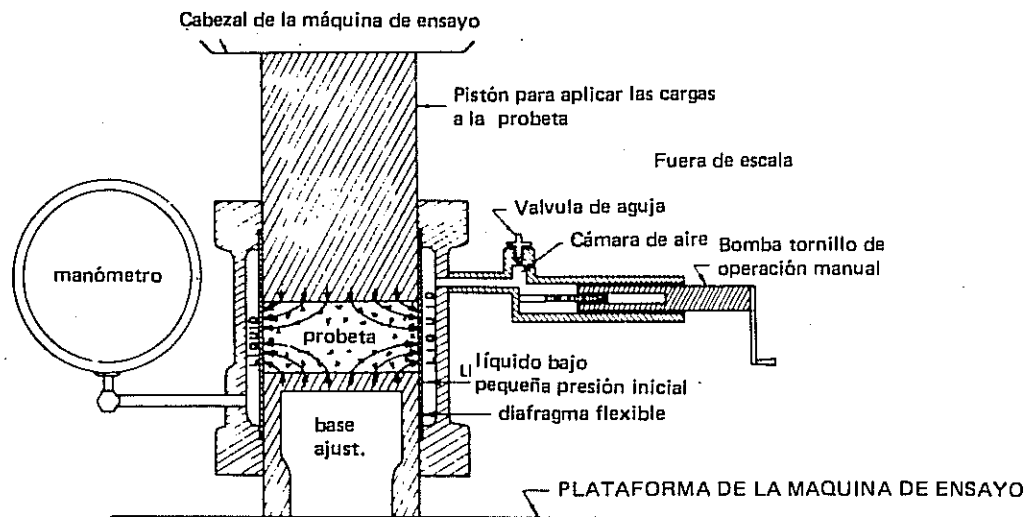


Figura 11. Aparato para el ensayo de hinchamiento

194



NOTA: La probeta tiene un soporte lateral diafragma flexible, el cual transmite la presión al líquido. La magnitud de la presión puede ser leída en el manómetro

Figura 12. Diagrama mostrando las características principales del estabilómetro Hveem

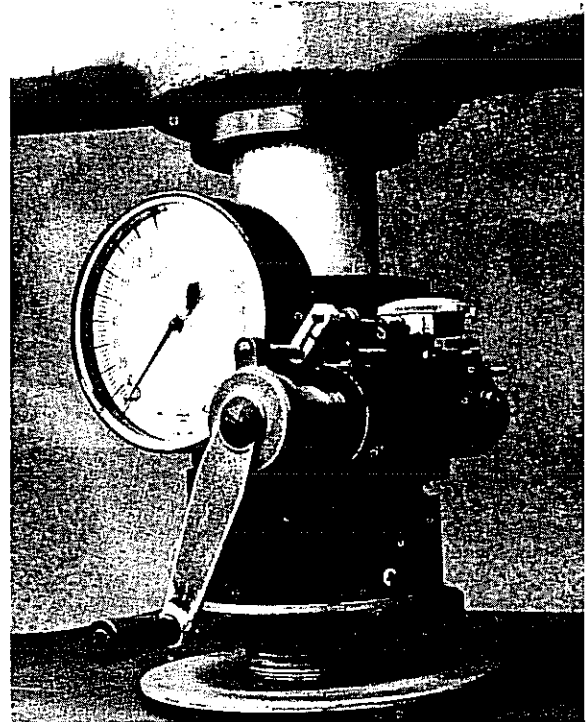


Figura 13. Estabilómetro Hveem

11 Después de registrar el desplazamiento se quita la carga de ensayo y la presión en el manómetro se reduce a cero, la bomba de desplazamiento se gira tres vueltas adicionales para permitir retirar la probeta.

Determinación de la Densidad Bruta — Los procedimientos y cálculos para la ejecución de esta tarea ya han sido indicados en lecciones previas.

Interpretación de resultados

No se requieren cálculos para el ensayo de hinchamiento ya que los resultados se registran directamente por diferencias. El valor, S, del estabilómetro, se calcula así:

$$S = \frac{22.2}{\frac{P_h D_2 + 0.222}{P_v - P_h}} \quad (1)$$

donde

S = Estabilidad relativa

D₂ = desplazamiento de la probeta

P_v = presión vertical a 2,76 MPa (400 lb/pulg²) [22,4 kN (5000 lb) de carga total], y

P_h = presión lateral correspondiente a P_h = 2,76MPa (400 lb/pulg²).

Se hace la determinación de densidad y vacíos usando la densidad bruta y los pesos específicos aparentes del agregado y asfalto. El peso unitario y el porcentaje de vacíos también son calculados.

El diseño de una mezcla en caliente por el método Hveem es conveniente si el contenido de asfalto y la graduación del agregado satisfacen las exigencias mostradas en la Tabla 1. Se debe realizar además un esfuerzo para producir un porcentaje mínimo de vacíos del 4% .

El contenido óptimo de asfalto para el diseño debe ser el más alto que la mezcla puede alojar sin reducción de la estabilidad o del contenido de vacíos por debajo de los valores mínimos.

TABLA 1
CRITERIO DE DISEÑO HVEEM

Criterio de diseño # Hveem ¹	Tránsito Liviano ²		Tránsito Mediano ²		Tránsito Pesado ²	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Valor del estabilómetro	30	—	35	—	37	—
Hinchamiento mm (")	—	0.762 (0.030)	—	0.762 (0.030)	—	0.762 (0.030)
Porcentaje de vacíos ³	4	—	4	—	4	—

¹ El criterio es aplicable sólo cuando el ensayo se realiza de acuerdo con los métodos descritos en la publicación del Asphalt Institute, *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mixes Types (MS-2)*. Todo el criterio, no sólo la estabilidad, debe ser considerado en el diseño de una mezcla asfáltica para pavimentación.

Las bases asfálticas de mezclas en caliente que no cumplen con estos valores cuando se ensayan a 60°C (140°F) son satisfactorias si los cumplen al ser ensayadas a 38°C (100°F) y si son colocadas a 10 cm. (4") o más, por debajo de la superficie. Esta recomendación se aplica sólo a regiones que tienen un rango de condiciones climáticas similares a aquellas que prevalecen en la mayor parte de los EE.UU. Puede considerarse una temperatura de ensayo inferior en regiones que tengan condiciones climáticas más extremas.

² Clasificación del tránsito (ver Tema J).

Liviano : Condiciones del tránsito. Designación EAL < 10⁴

Mediano : Condiciones del tránsito Designación EAL entre 10⁴ y 10⁶

Pesado : Condiciones del tránsito. Designación EAL > 10⁶

³ A pesar de no realizarse rutinariamente en el método de diseño se hace conveniente obtener un porcentaje mínimo de vacíos en la mezcla total.

TEMA E

ELABORACION EN PLANTA DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES

Nota para el Instructor

Con este tema y el tema F de pavimentación con asfaltos se llega al punto más importante del curso de tecnología del asfalto y construcción. Los estudiantes deben tener la oportunidad de visitar una planta de mezcla asfáltica en caliente en operación y también un lugar donde se esté colocando y compactando la mezcla para pavimentar.

Se debe recordar que las plantas asfálticas también se usan para hacer mezclas asfálticas con asfaltos emulsionados y diluidos, cuya producción requiere normalmente menor temperatura y agregados parcialmente secos. Al igual que las mezclas en caliente, estas mezclas deben cumplir con ciertos controles de calidad.

Se debe poner particular énfasis en los ajustes de la planta para mantener el control del flujo de materiales, como así también en la realización de los ensayos y registros requeridos por el inspector de planta.

Para este tema, el material de apoyo es limitado porque hay sólo tres tipos básicos de plantas disponibles, de distintos rangos de producción y grados de sofisticación. Sin embargo, se describen los fundamentos y su entendimiento habilita al operador o inspector de planta para adaptarse a casi cualquier operación en planta de mezclado en caliente.

BIBLIOGRAFIA

1. "Asphalt Plant Manual, MS-3". The Asphalt Institute.
2. "Bituminous Construction Handbook". Barber-Greene Co.

LECCION 1

PLANTAS ASFALTICAS

Objetivo: Describir las distintas partes de una planta asfáltica y explicar sus funciones.

INTRODUCCION	E 5
Tipos de plantas asfálticas	E 5
Ubicación	E 8
ACOPIO Y ALIMENTACION EN FRIO DE AGREGADOS	E 8
Acopio de agregados	E 8
Aprovisionamiento de las unidades de alimentación en frío	E 9
Tipo de alimentadores y controles	E 9
SECADO Y CALENTAMIENTO DEL AGREGADO	E11
El secador	E11
Sistema indicador de temperatura	E12
El colector de polvo	E12
ACOPIO DE AGREGADOS EN CALIENTE	E14
Unidad de zarandeo	E14
Tolvas en caliente	E14
RELLENO MINERAL (FILLER)	E15
Polvo recogido	E15
Filler Comercial	E15
ACOPIO DE ASFALTO	E15
Tanques para asfalto	E15
Calentamiento y circulación del asfalto	E16
INSTALACIONES MEZCLADORAS INTERMITENTES	E16
Balanza tolva para agregados	E16
Cubeta y medidor de asfalto	E16
Mezclador	E17
Silo de almacenamiento en caliente	E17
Mezclado	E17
Instalaciones automáticas	E18

INSTALACIONES MEZCLADORAS CONTINUAS	E19
Compuertas de los depósitos en caliente	E19
Distribución del asfalto	E20
Mezclador	E21
Instalaciones automáticas	E21
MEZCLADO EN TAMBOR	E21
Instalaciones básicas	E21
Controles	E21
Funcionamiento	E22
ELABORACION UNIFORME DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE	E22
Continuidad de las operaciones	E22
Almacenamiento de la mezcla asfáltica caliente	E22

LECCION 1

PLANTAS ASFALTICAS

INTRODUCCION

Las mezclas asfálticas para pavimentación hechas con cemento asfáltico se preparan en una instalación mezcladora. Para producirlas se combinan, calientan y secan los agregados y se los mezcla con el cemento asfáltico. Esta planta de mezclado puede ser pequeña y simple o grande y compleja, según el tipo y cantidad de mezcla asfáltica producida.

Los componentes de una planta asfáltica intermitente o de una continua (Figura 1) son:

- (a) acopio de agregados en frío
- (b) secado
- (c) zarandeado
- (d) acopio en caliente
- (e) dosificación y mezclado
- (f) silo de almacenamiento (frecuentemente).

Se saca el agregado del almacenamiento, o pilas de acopio, en cantidades controladas y se lo calienta y seca en un secador. Luego se lo pone sobre una unidad de zarandeo que separa al material en fracciones de distinto tamaño y las deposita en tolvas para acopio en caliente. Se introduce el agregado y el filler mineral, cuando se los usa, en cantidades controladas, se los combina con el asfalto y se los mezcla cuidadosamente. Esta mezcla es transportada al sitio a pavimentar.

Los componentes de una instalación de mezclado en tambor son:

- (a) acopio de agregados en frío
- (b) dosificación
- (c) calentamiento y mezclado
- (d) silo de almacenamiento

El proceso de mezcla en tambor se explica también en esta lección.

Tipos de Plantas Asfálticas

Las plantas asfálticas pueden ser fijas o transportables - sean del tipo intermitente, de mezcla continua o de mezcla en tambor. La planta fija (Figura 2) está ubicada en forma permanente y generalmente no se la desmantela ni mueve. La planta transportable (Figura 3) puede ser desarmada fácilmente, trasladada con rieles o por carretera y rearmada con un gasto de tiempo y energía mínimos.

En la planta de mezclado intermitente o por pastones se sacan las fracciones de agregado caliente de distintos tamaños de las tolvas de almacenamiento en las cantidades necesarias para hacer un

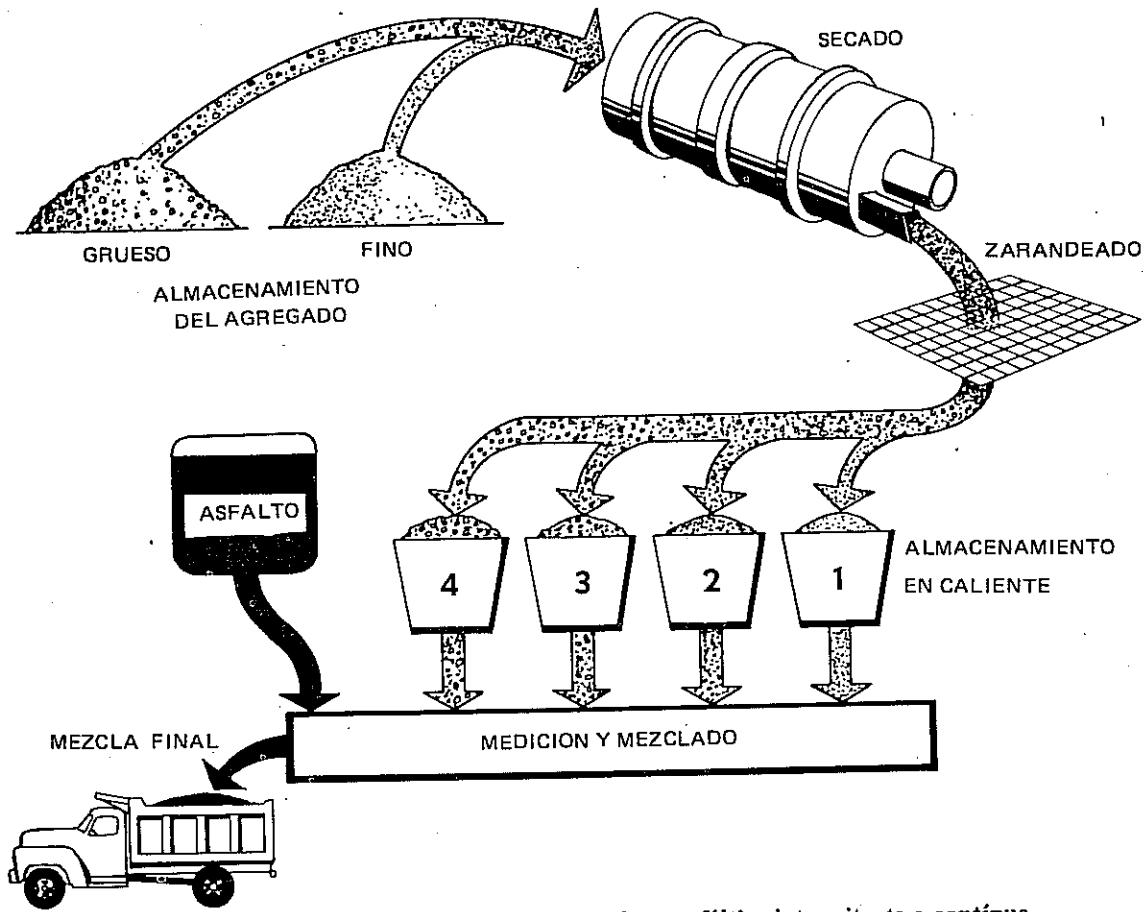


Figura 1. Diagrama típico de una planta asfáltica intermitente o continua

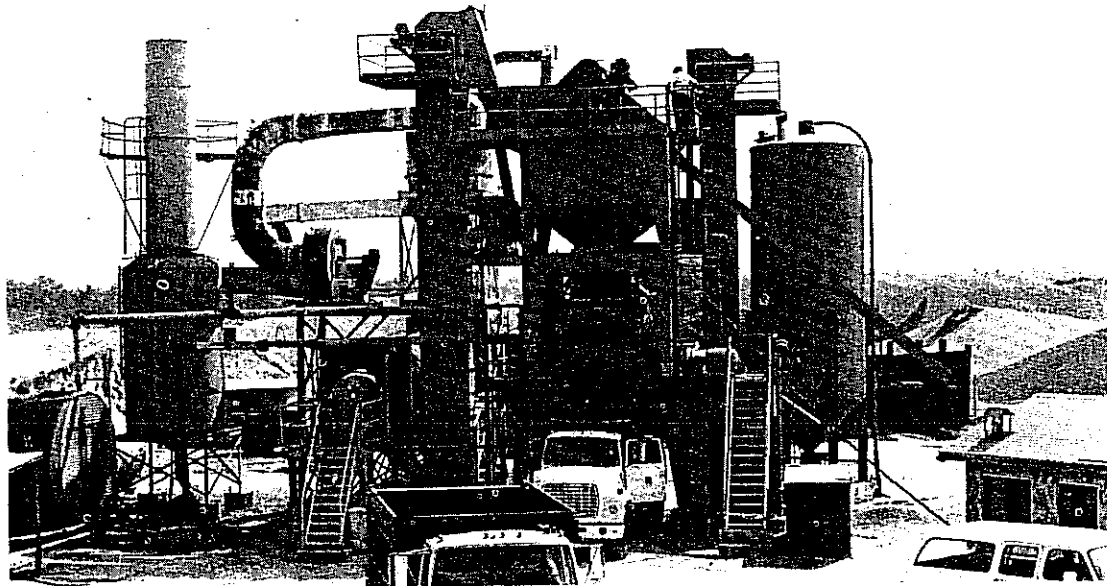


Figura 2. Planta de mezclado central

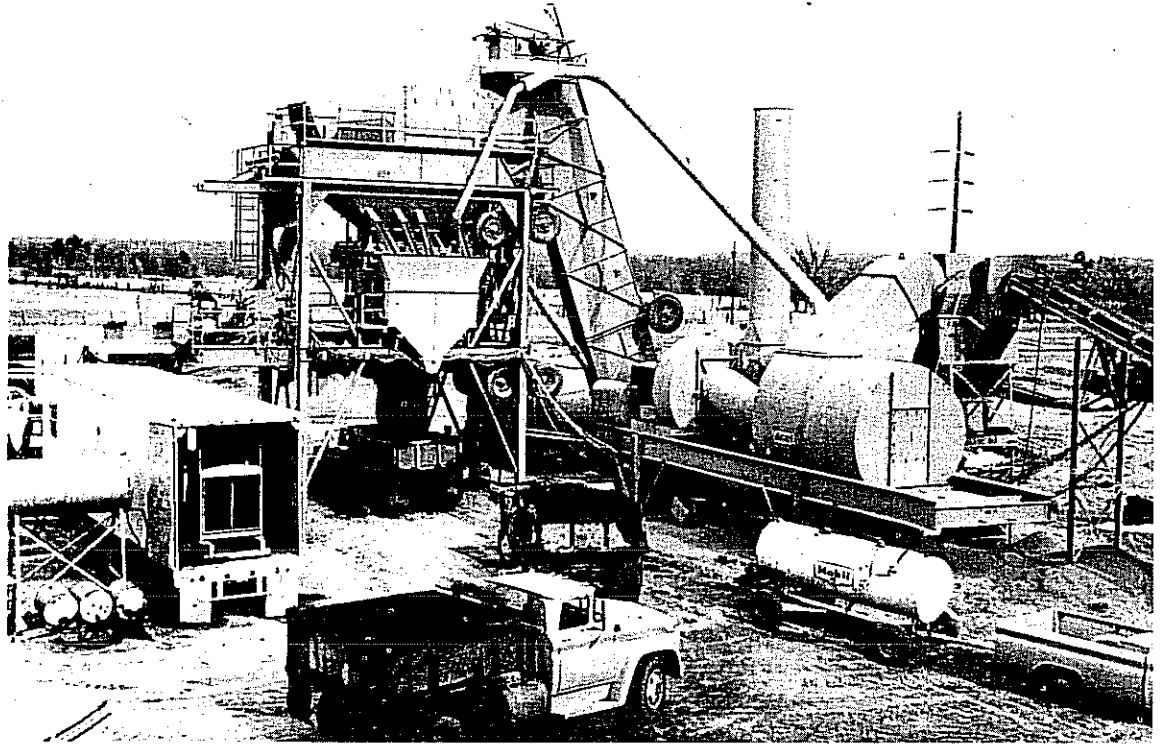


Figura 3. Planta de mezclado central, tipo desmontable
(Cortesía de Iowa Manufacturing Co.)

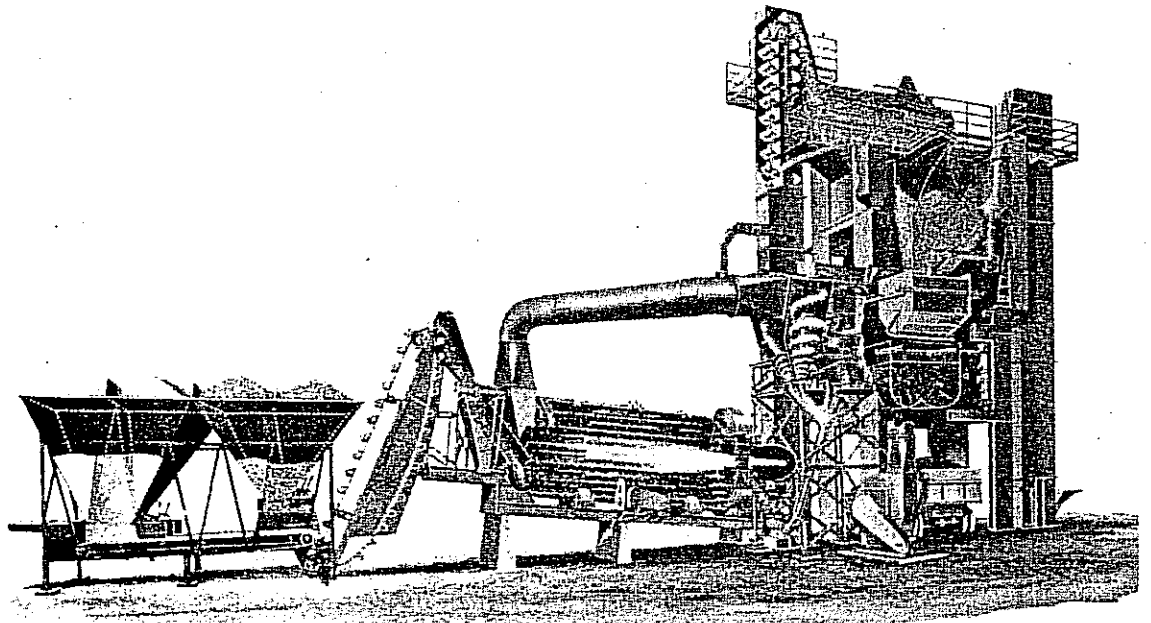


Figura 4. Diagrama de fabricación por pastones
(Cortesía de Barber-Greene Co.)

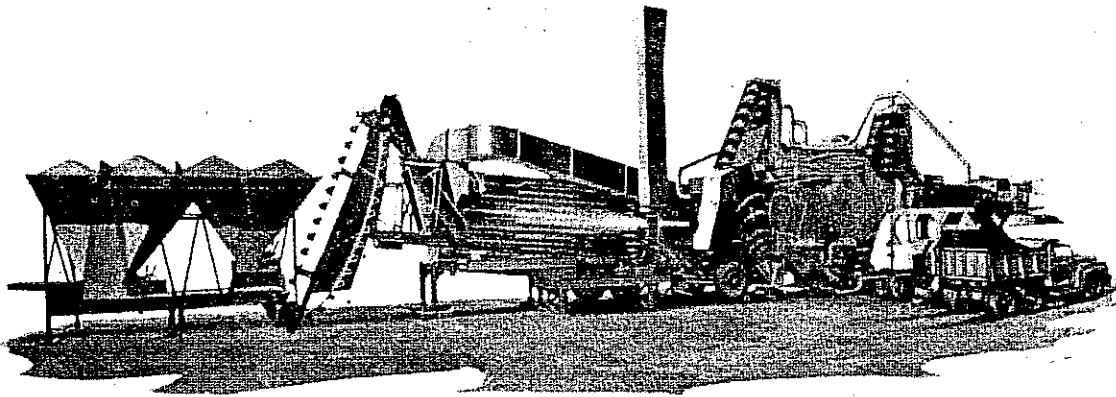


Figura 5. Diagrama de la elaboración continua
(Cortesía Barber-Greene Co.)

pastón de mezcla (Figura 4). Se introduce entonces toda la combinación de agregados en una cámara de mezclado. Se mezcla cuidadosamente el asfalto, ya pesado, con el agregado. Luego se vacía el material del mezclador en un solo pastón.

En la planta de mezclado continuo (Figura 5), se introducen el agregado y el asfalto, se combinan, mezclan y descargan manteniendo un flujo ininterrumpido. La combinación de materiales se hace generalmente por mediciones volumétricas, basadas en su peso unitario. La alimentación de los áridos y del asfalto en un extremo del mezclador se hace por medio de dispositivos interconectados que mantienen automáticamente las proporciones correctas. Los materiales, a medida que son mezclados, son llevados por paletas agitadoras hacia el extremo de descarga.

En la planta de mezclado en tambor, las mezclas asfálticas en caliente se elaboran con un sistema de alimentación en frío, un sistema dosificador de asfalto, un tambor secador mezclador giratorio y un silo de almacenamiento (Figura 6).

Ubicación

La planta debe estar situada de forma tal que los camiones que transportan la mezcla elaborada para pavimentación no retrasen a los que aprovisionan los materiales. Generalmente están a un lado de una cantera o de una vía férrea de forma tal que el manipuleo de los agregados que entran es mínimo y cerca de un buen camino para que los camiones que transportan la mezcla no congestionen el tránsito ni se demoren. El área debe estar limpia; las condiciones de sanidad y seguridad de la planta deben ser buenas.

Para seleccionar el lugar de instalación de la planta se deben tener en cuenta ciertas pautas, como escurrimiento superficial del agua, dirección predominante del viento, proximidad de mano de obra y mercado, y base sólida y apropiada.

ACOPIO Y ALIMENTACION EN FRIO DE AGREGADOS

Acopio de Agregados

El acopio de agregados se hace en pilas o montones construídos cuidadosamente sobre superficies limpias y estables, tomando las previsiones necesarias para evitar que los materiales se mezclen o contaminen.

El movimiento de vehículos hacia y desde las pilas debe ser fácil, sin estorbos. Por lo tanto no es conveniente almacenar cerca de la planta más reservas de material que las necesarias para algunos días. Para operar bien, la cantidad de materiales que entran al acopio debe ser del mismo orden, aproximadamente, que la cantidad correspondiente de los mismos que se retira del acopio.

El manejo del filler es distinto porque se aglutina o endurece al humedecerse. Se lo almacena separado para protegerlo de la humedad.

Aprovisionamiento de las unidades de alimentación en frío

El sistema de alimentación del agregado frío constituye el mayor componente de la planta de mezcla asfáltica en caliente. Se lo puede cargar con uno de los siguientes métodos, o una combinación de los mismos.

1. Tolvas descubiertas, con dos, tres, o cuatro compartimientos, alimentadas generalmente por una grúa con balde de almeja o por un cargador frontal.

2. Túnel situado bajo los montones de acopio, separados por mamparas de contención. Para amontonar los materiales sobre el túnel se usan cintas transportadoras, camiones, grúas o cargadores frontales.

3. Grandes tolvas o depósitos. Para alimentarlos se usan camiones, vagones volcadores o volquetes que descargan directamente sobre las tolvas.

Tipos de alimentadores y controles

Las unidades de alimentación de agregados pueden estar debajo de las tolvas de acopio o de las pilas, o en posiciones que garanticen un flujo uniforme de agregados. Tiene controles que pueden ser fijados para producir un flujo uniforme de agregados hacia el elevador en frío (Figura 7). Hay

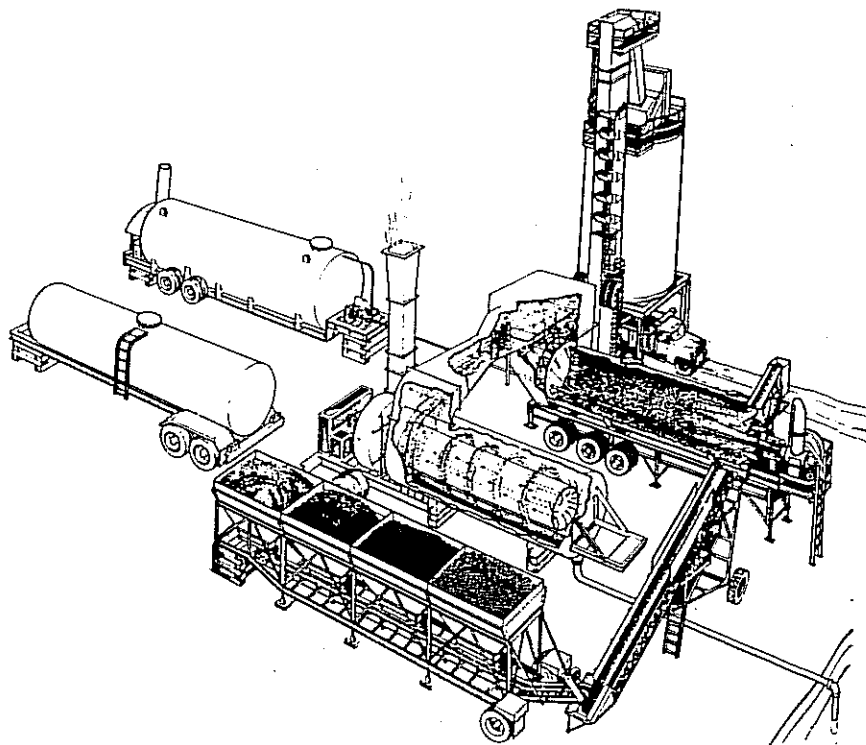


Figura 6. Planta tipo tambor mezclador
(Cortesía de Barber-Greene Co.)

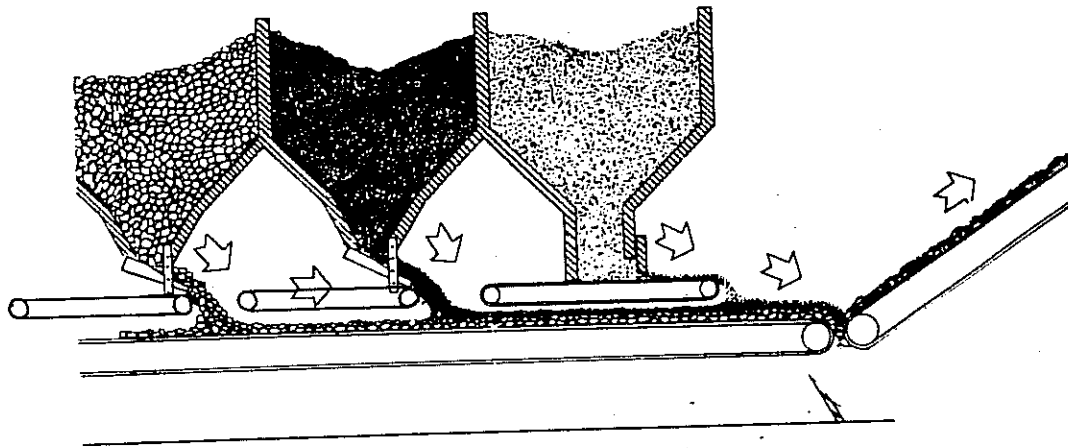


Figura 7. Alimentador en frío de tres tolvas y cinta

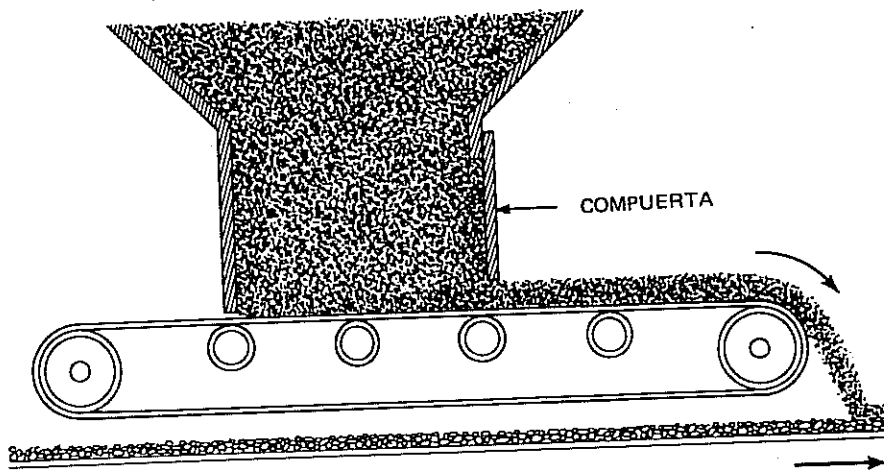


Figura 8. Alimentador de cinta continua

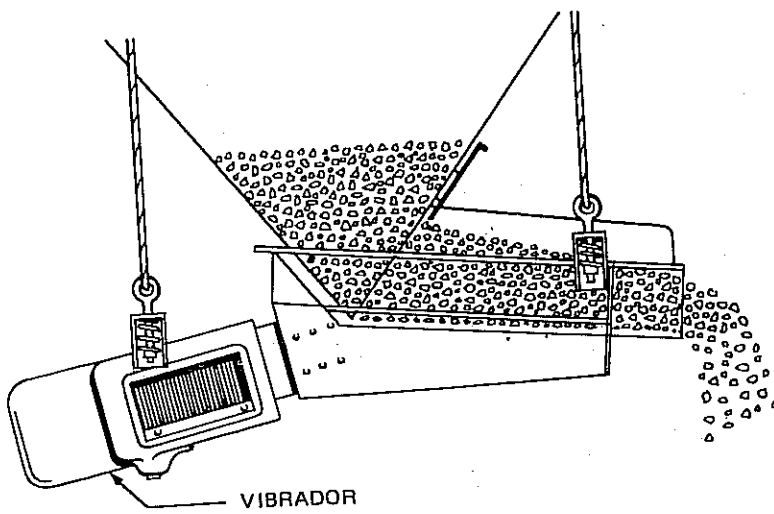


Figura 9. Alimentador vibratorio electromagnético

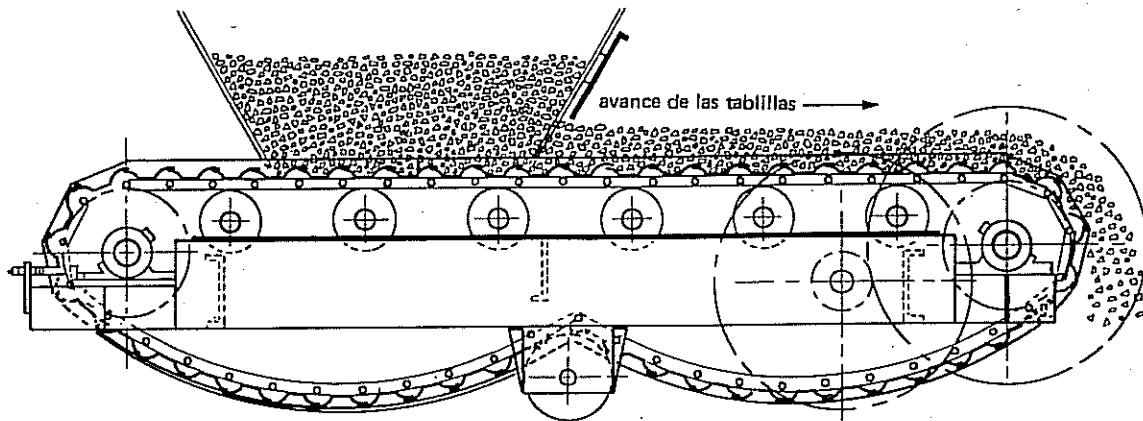


Figura 10. Alimentador de banda articulada

distintos tipos de alimentadores, incluyendo:

Cinta transportadora continua (Figura 8)

Vibratorio (Figura 9)

De banda articulada (Figura 10)

Generalmente para agregados finos se logra una medición más exacta usando alimentadores de cinta. El flujo de agregados gruesos es satisfactorio con cualquiera de ellos.

Los insumos deben ser medidos con exactitud para lograr una producción uniforme de la planta asfáltica. Por lo tanto, debe destacarse la importancia de alimentar el secador con un flujo correcto compuesto por las cantidades exactas de cada tamaño de agregado.

SECADO Y CALENTAMIENTO DEL AGREGADO

El Secador

El secador es una de las unidades básicas de una planta asfáltica. Seca y calienta el agregado proveniente de las reservas de alimentación en frío, haciéndolo apto para mezclarlo con el asfalto, en la operación de mezclado en caliente.

Generalmente es un tambor metálico grande giratorio montado con cierta pendiente y equipado en su extremo inferior con una unidad de calentamiento a combustible líquido o gaseoso (Figura 11). Los gases calientes del quemador recorren desde el extremo inferior del tambor giratorio hasta salir afuera por su extremo superior. El agregado frío que entra por el extremo superior del secador, es recogido por ángulos o aletas de acero montadas en su interior. Cuando el tambor gira, levantan al agregado y lo dejan caer formando una cortina a través de los gases calientes y la llama. Además el agregado va avanzando hacia el extremo inferior del secador debido a la inclinación del mismo. El agregado, ya caliente, se descarga en un elevador que los lleva hasta las zarandas y el almacenamiento en caliente.

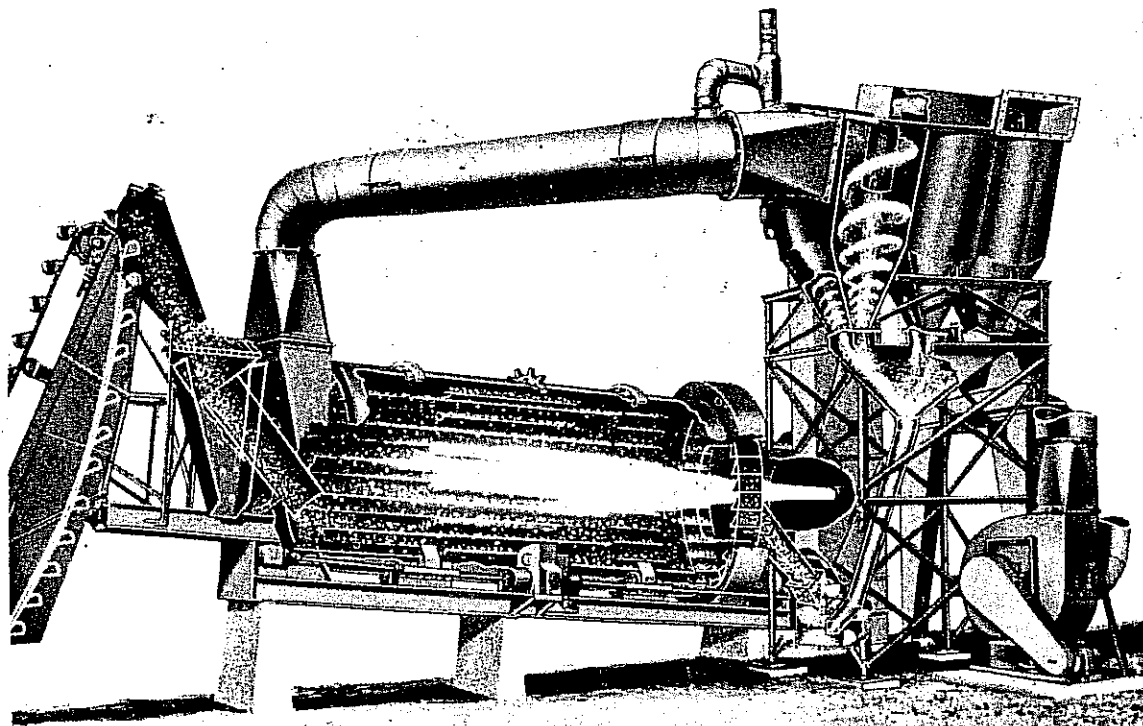


Figura 11. Secador y colector de polvo en una instalación mezcladora central
(Cortesía de Barber-Greene Co.)

El secado es la operación más costosa en la producción de la mezcla y también el “cuello de botella” que se encuentra con más frecuencia en una planta en operación. El mejor secador es aquel que reúne el nivel de rendimiento deseado con la menor inversión y costos de operación.

Sistema Indicador de temperatura

Las temperaturas del agregado para mezclarlo están normalizadas. Se las mide con un termómetro o con una termocupla adosada a un pirómetro indicador. En general, se prefieren estos últimos ya que reaccionan más rápido ante cambios de temperatura. A veces, cuando es necesario, se instalan dispositivos para registrarlas.

El colector de polvo

Generalmente, el colector de polvo (Figuras 12, 13 y 14) opera adyacente y en combinación con el secador, y éste es necesario para que la planta trabaje eficientemente. Elimina o reduce el efecto perjudicial que causa el polvo cuando sale junto con el aire del secador. Los sistemas colectores modernos son altamente eficientes. Generalmente cuentan con dispositivos para devolver el polvo recogido al agregado caliente a medida que éste sale del secador y es recogido por el elevador caliente. Si el polvo no es apto para ser usado en la mezcla asfáltica, se lo saca del colector y se lo tira.

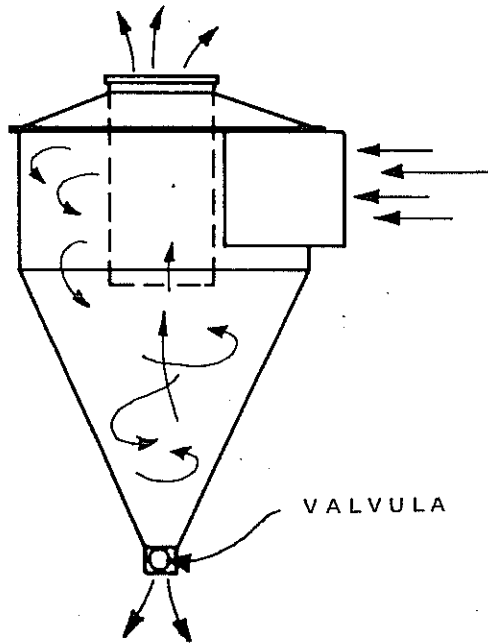


Figura 12. Colector ciclónico
(colector de polvo centrífugo en seco)

Figura 13. Filtro de bolsas de tejido

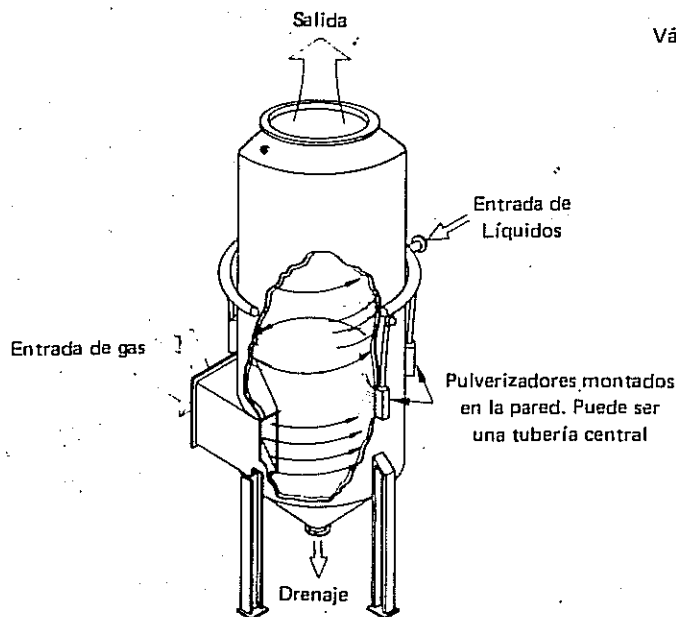
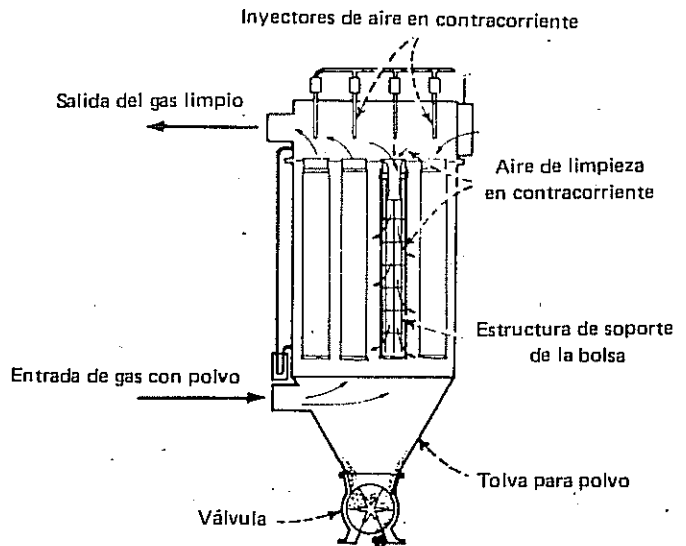


Figura 14. Lavador centrífugo en húmedo

Hay tres tipos comunes de colectores de polvo: colectores ciclónicos (Figura 12), colectores de filtro de tejido (Figura 13) y lavadores en húmedo (Figura 14). Un sistema colector de polvo puede tener dos o más de estos dispositivos, de los cuales uno es el colector primario y el resto, los colectores finales o secundarios.

ACOPIO DE AGREGADOS EN CALIENTE

Unidad de Zarandeo

El elevador en caliente transporta el agregado seco desde el secador hasta una unidad que contiene zarandas, tolvas de almacenamiento y dispositivos para establecer las proporciones de agregado (Figura 15). Las zarandas separan al agregado en fracciones de distintos tamaños normalizados, enviando cada una a una tolva diferente. Cualquier desequilibrio que aparezca en estas tolvas en caliente situadas bajo las zarandas significa que es necesario hacer correcciones en algún lugar - generalmente en el alimentador de agregados en frío.

Se deben seleccionar zarandas de tamaños que permitan separar al agregado en porcentajes iguales de material en peso. En la práctica, sin embargo, la zaranda más pequeña es la de 3,35mm (N^o6). Para que el agregado separado cumpla con los tamaños normalizados de los tamices usados en los ensayos, las mallas de las zarandas tienen aberturas ligeramente mayores.

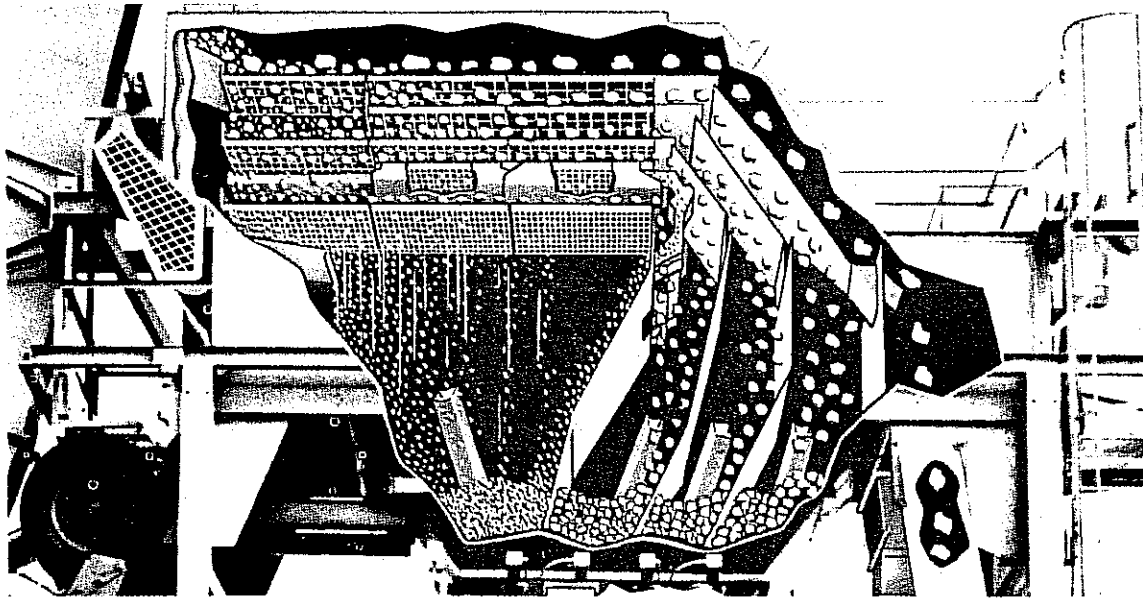


Figura 15. Vista en corte que muestra los detalles de la circulación de material a través de las zarandas y de las tolvas
(Cortesía de Iowa Manufacturing Company)

Tolvas en Caliente

Las tolvas en caliente se usan para almacenar temporalmente las fracciones de distintos tamaños del agregado calentado y clasificado. Cada depósito debe ser lo suficientemente grande para evitar que el material se agote cuando el mezclador está operando a capacidad completa. Cada tol-

va debe estar provista de un aliviadero para evitar que los agregados puedan caer en las otras tolvas o que se llenen tanto que la zaranda vibratoria se apoye en los áridos. Este último fenómeno produce sobrecargas y daños en las zarandas. El material almacenado en caliente va saliendo en proporciones predeterminadas y con una velocidad especificada. Si el nivel de agregado del almacenamiento en caliente varía poco durante la operación de la planta, se logra un flujo balanceado de agregado.

RELLENO MINERAL (FILLER)

Polvo Recogido

Si el material recogido en el colector de polvo puede ser recombinado con los agregados en la mezcla satisfactoriamente, parte de él o su totalidad puede hacerse volver a la instalación.

En la parte inferior del colector de polvo hay un tornillo sinfín que recoge el polvo y los finos que se depositaron en la cámara del mismo y los deja en la parte inferior del elevador en caliente, donde se juntan con el agregado que sale del secador.

Filler Comercial

En general, las plantas asfálticas de tipo superior tienen sistemas de alimentación separados para introducir el relleno mineral comercial en la mezcla. Se los deposita en un alimentador a nivel de tierra y se lo transporta sucesivamente con un transportador de tornillo, un elevador hermético de polvo y una canaleta de descarga hasta llegar a una tolva compensadora. Desde aquí se lo incorpora al agregado a medida que éste cae de las tolvas en caliente para ser mezclado.

ACOPIO DEL ASFALTO

Tanques para Asfalto

En las plantas debe almacenarse asfalto en cantidad suficiente para mantener una producción uniforme, incluso contando con posibles retrasos en las entregas de material y en los ensayos.

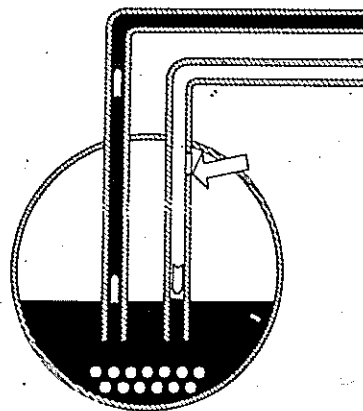


Figura 16. Tubería de retorno del asfalto. La flecha grande indica la ranura vertical

Los tanques de reserva de asfalto deben estar graduados de forma tal que se pueda determinar la cantidad de material que queda en el mismo en cualquier momento. Deben tener también un termómetro registrador adecuadamente ubicado que pueda cubrir un tiempo mínimo de 24 horas.

Calentamiento y circulación del asfalto

El asfalto debe calentarse a fin que esté lo suficientemente fluído para circular a lo largo de las tuberías de distribución y de retorno. Esto se logra haciendo circular vapor o aceite caliente por serpentinas dentro del tanque, o eléctricamente.

Todos los tanques de almacenamiento, tuberías de transferencia, bombas y recipientes para pesar deben estar encamisados o tener serpentinas de calentamiento para mantener la temperatura necesaria en el asfalto. Las tuberías de retorno que descargan en el tanque de acopio deben estar siempre sumergidas por debajo del nivel del asfalto en el tanque para evitar que el asfalto se oxide (Figura 16). Para romper el vacío en las tuberías, cuando se invierte el funcionamiento de la bomba, deben practicarse en la línea de retorno, en el interior del tanque, dos o tres ranuras verticales, sobre el máximo nivel posible del asfalto almacenado.

INSTALACIONES MEZCLADORAS INTERMITENTES (Discontinuas)

Hasta aquí, la diferencia entre cualquier clase o tipo de planta de mezcla asfáltica fue muy pequeña. En adelante, se van a hacer distinciones entre los distintos tipos de plantas descriptos: intermitente o por pastones, de mezcla continua o de tambor mezclador.

Resumidamente, en una planta intermitente el agregado caliente es extraído desde su almacenamiento en cantidades predeterminadas y volcado al mezclador formando un pastón. Se incorpora entonces la cantidad correcta de asfalto y se lo mezcla. Este pastón se vuelca en un camión (Figura 17).

Balanza tolva para agregados

El vertido de los agregados de los depósitos de material caliente a la tolva de pesado debe comenzar por los de mayor tamaño, disminuyendo progresivamente hasta el tamaño más fino, añadiendo el filler mineral en último lugar. La cantidad que debe aportar cada tolva es determinada por el tamaño del pastón y la proporción en la que participan en la mezcla los distintos agregados. La tolva de pesado se cuelga de una báscula de balancín y se pesan acumulativamente las cantidades de agregados.

En las tolvas en caliente debe haber siempre material suficiente para completar un pastón antes de que empiece la descarga. Si una tolva se está vaciando o está demasiado llena, es muy posible que se necesite ajustar la alimentación en frío.

Cubeta y medidor de asfalto

El asfalto puede pesarse en un recipiente especial o puede medirse con un medidor para cada pastón. Cuando se lo pesa en un pastón, se bombea el asfalto a una cubeta de tara conocida y se lo pesa en una báscula.

Si se usan dispositivos medidores, la medición es por volumen. Pero como éste cambia con la temperatura, algunos medidores tienen dispositivos compensadores que corrigen el flujo de asfalto con las variaciones de la temperatura.

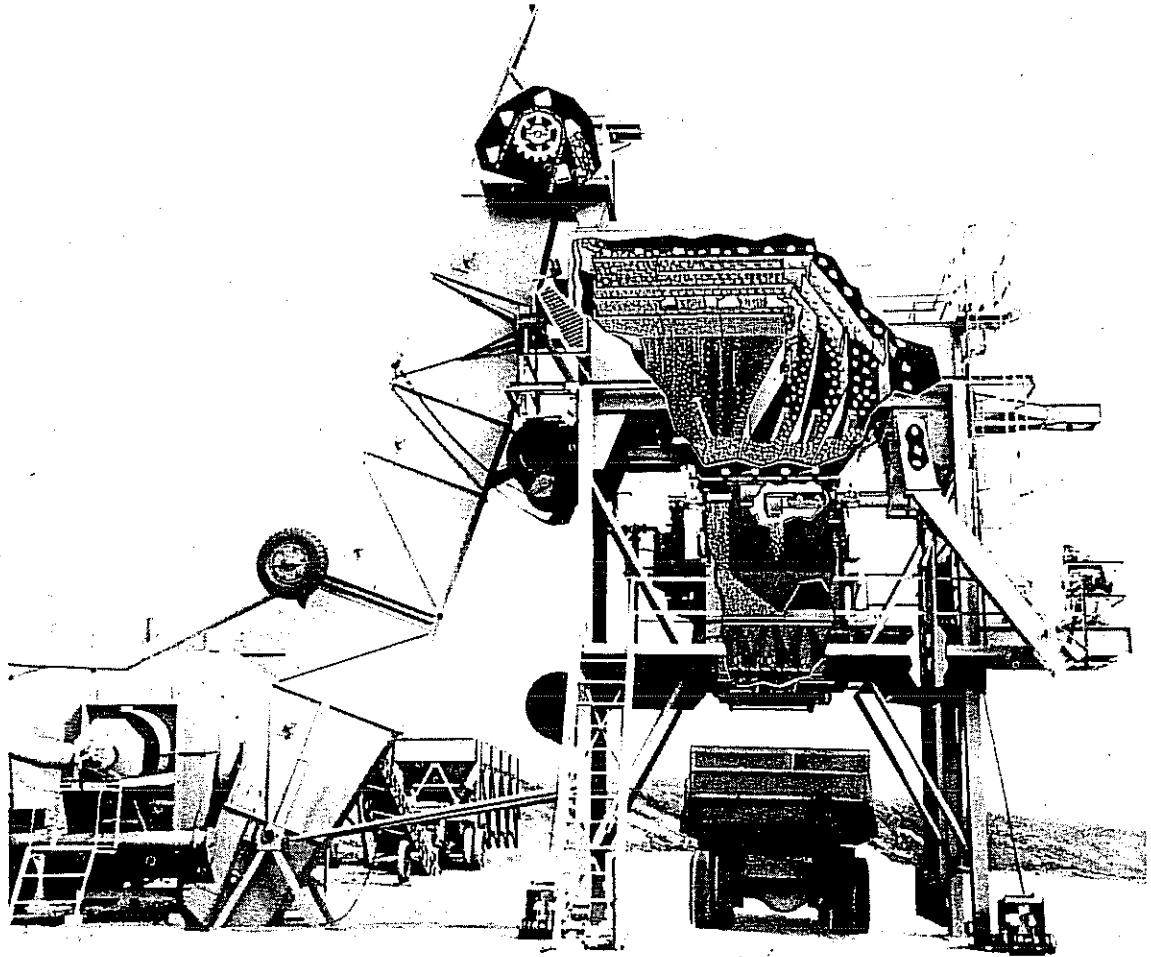


Figura 17. Diagrama en corte de una planta asfáltica de mezclado intermitente
(Cortesía de Iowa Manufacturing Company)

Se debe pesar el volumen de asfalto bombeado entre dos lecturas del medidor para poder calibrarlo.

Mezclador

En las plantas asfálticas modernas se emplean generalmente mezcladores de paletas de ejes gemelos (Figura 18). En las plantas intermitentes esta unidad se monta directamente debajo de la caja de pesado y de la cubeta de asfalto, pero lo suficientemente alto para descargar la mezcla en un camión u otra unidad de transporte.

Silo de almacenamiento en caliente

El silo de almacenamiento en caliente se usa para almacenar temporalmente la producción de mezcla caliente antes de que se la transporte. Es una estructura cilíndrica cuyo extremo inferior tiene forma de cono. La mezcla caliente entra al silo por su parte superior y se la carga en camiones desde su base.

Mezclado

Al depositar los agregados calientes en la tolva de pesada, se produce un mezclado en seco y también al ponerlos en el mezclador. El tiempo de mezclado húmedo comienza cuando aparece el flujo de asfalto desde la cubeta o el medidor.

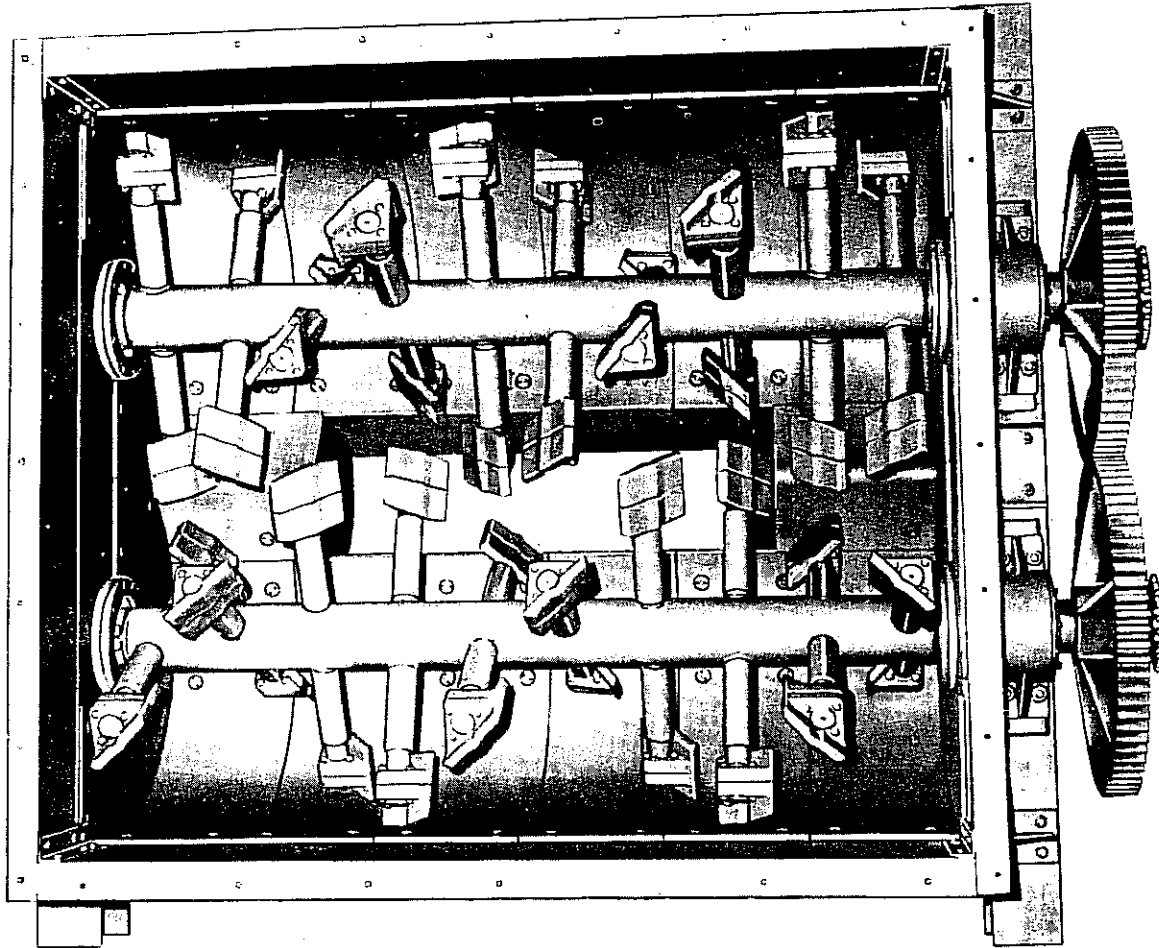


Figura 18. Mezclador de paletas para planta intermitente
(Cortesía de Iowa Manufacturing Company)

La película de asfalto depositada sobre los agregados se endurece por efecto del calor y la exposición al aire. El tiempo de mezclado debe ser el más corto, compatible con una distribución uniforme de los tamaños de los áridos y un revestimiento uniforme de sus partículas con asfalto. La velocidad de los ejes del mezclador y la disposición y ángulo de las paletas son factores que influyen en el rendimiento del mezclador.

Después de completar el tiempo de mezclado, se abre el fondo del mezclador, descargándose su contenido en el silo de almacenamiento o directamente en el camión.

Instalaciones automáticas

Las plantas intermitentes modernas se clasifican en tres categorías según su grado de automatización:

- (a) Manuales
- (b) Semiautomáticas
- (c) Automáticas

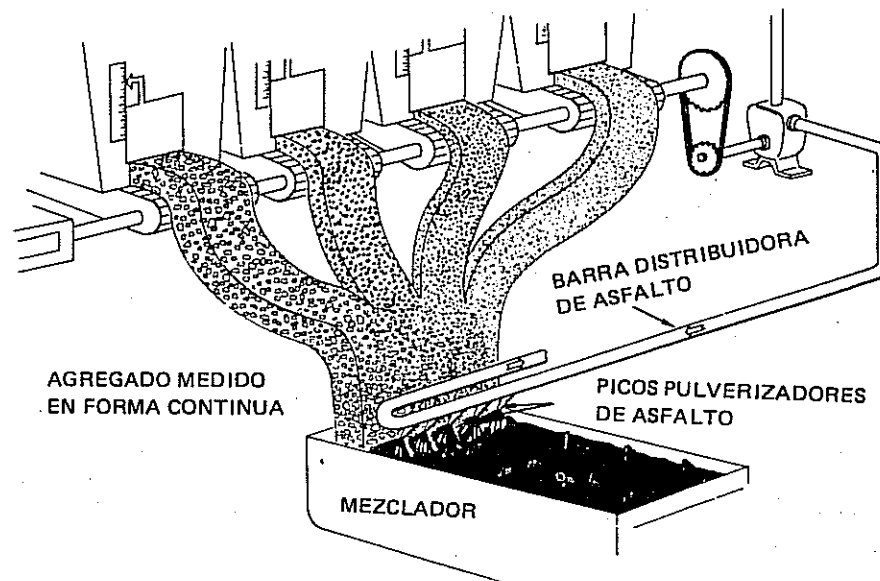


Figura 19. Operación de la barra distribuidora. La distribución del asfalto está interconectada mecánicamente con los alimentadores del agregado

La mayoría de estas plantas tienen en común el control mecánico de los procedimientos de pesado y de mezclado. Hasta en las plantas manuales, los sistemas de palancas han sido reemplazados por cilindros de aire comprimido o hidráulicos accionados por interruptores eléctricos que manejan las compuertas de las tolvas de reserva, los alimentadores, las válvulas para asfalto, la compuerta de descarga de la caja de pesado y la compuerta de descarga del mezclador.

En las plantas semiautomáticas todas las operaciones, desde la descarga de la caja de pesado hasta la descarga del mezclador, están bajo un ciclo automático de control. Este incluye la operación de la compuerta de descarga de la tolva de pesaje, el mezclado en seco (cuando es necesario), el recipiente de pesaje del asfalto, el mezclado húmedo y la operación de la compuerta de descarga del mezclador. Por medio de interruptores límites se asegura que todas las funciones tengan la secuencia adecuada.

Los controles computarizados fiscalizan total y automáticamente todas las funciones de una planta asfáltica y mantienen un registro automático y un inventario continuo de materiales y producción. Los sistemas modernos computarizados también incluyen un control automático del quemador y mando a distancia para la alimentación en frío, total y en proporciones. Este sistema permite que un operador competente pueda controlar a distancia toda la operación de la planta.

INSTALACIONES MEZCLADORAS CONTINUAS

En una planta de mezclado continuo, el mezclador se alimenta desde un extremo con un flujo de agregado caliente, medido en volumen. Simultáneamente se distribuye el asfalto en el mezclador en una proporción en volumen previamente establecida. Los ingredientes, a medida que se mezclan se desplazan despacio hacia el extremo de descarga del mezclador. El asfalto y el agregado están mezclados completamente al alcanzar la salida (Figura 19).

Compuertas de los depósitos en caliente

Los áridos y el asfalto se introducen continuamente en el mezclador y la mezcla terminada sale de la planta también continuamente. Los dispositivos de alimentación del asfalto y agregados están conectados de tal forma que se obtienen automáticamente las proporciones correctas.

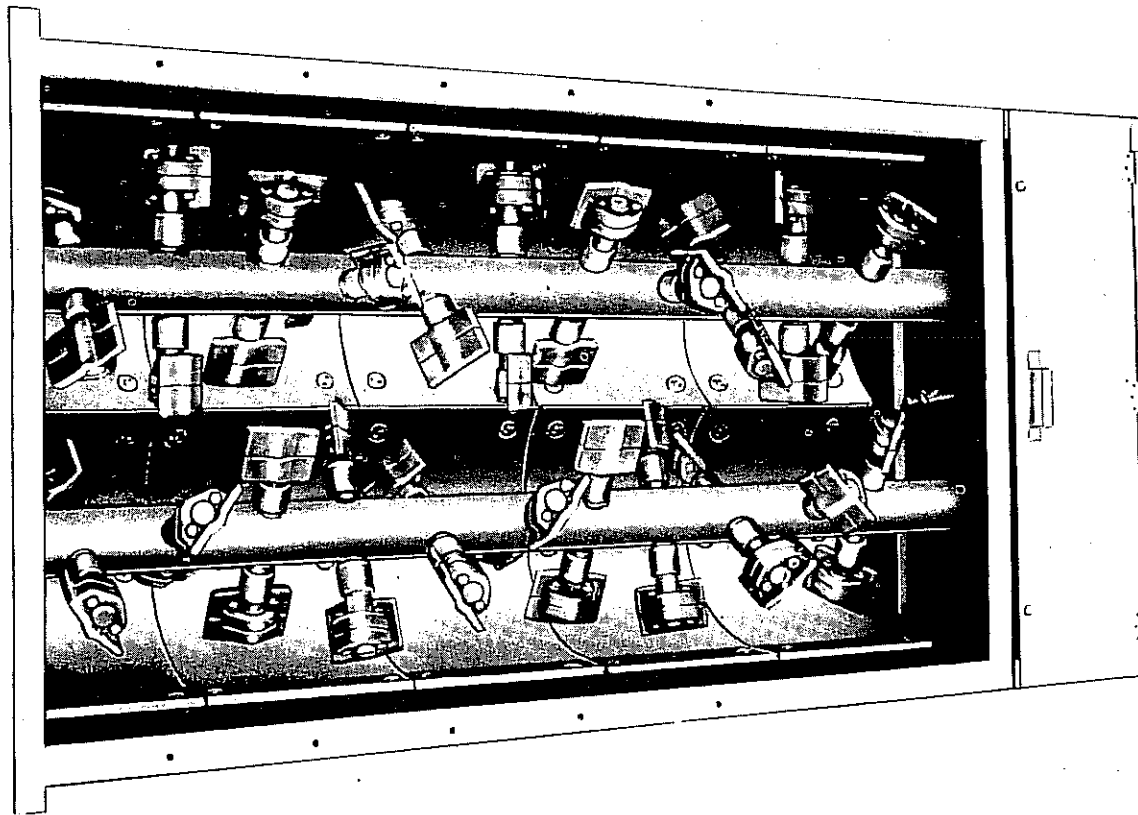


Figura 20. Mezclador de paletas para una planta continua
(Cortesía de Iowa Manufacturing Company)

Las compuertas de las tolvas en caliente son regulables. Cada una está calibrada y ajustada para que deje pasar una cantidad correcta de material hacia el mezclador en combinación con los flujos controlados de los depósitos de otros agregados.

Se considera que el material depositado durante una revolución del mecanismo de transmisión del alimentador, o en cualquier intervalo de tiempo elegido, es una unidad; y se calculan las proporciones de cada ingrediente exactamente como en una planta intermitente.

Distribución del asfalto

Las plantas mezcladoras continuas están equipadas con bombas de asfalto de desplazamiento positivo de dos tipos. Una es una bomba de volumen fijo que se regula cambiando los engranajes de mando o ajustando una cavidad interna. Está interconectada mecánicamente con los alimentadores de agregado (Figura 19). La otra es una bomba de volumen regulable, controlada por un volante de regulación. Cuando se usa el primer tipo, hay que emplear las tablas del fabricante para seleccionar la bomba apropiada y las combinaciones de engranajes para obtener la cantidad de asfalto deseada. Para seleccionar aproximadamente el otro modelo, se usan diagramas, se controlan y por último se ajustan con un sistema de calibración empotrado. El último tipo de bombas, de volumen regulable, debe calibrarse al empezar el trabajo con el asfalto a la temperatura normal de operación.

Mezclador

Generalmente, la función de un mezclador de paletas de tipo continuo es la misma que en una instalación de tipo intermitente. Sin embargo, en lugar de mezclar los materiales por pastones ellos son mezclados a medida que van siendo impulsados hacia el extremo de descarga. La altura del material en el mezclador puede regularse ajustando la compuerta de salida (Figura 20).

Instalaciones automáticas

La automatización propia de una planta mezcladora continua puede extenderse por la adición de distintos controles automáticos. Estos incluyen:

1. Controles automáticos de los quemadores
2. Descarga automática de la mezcla
3. Corte automático del mezclado y de la graduación, en caso de alimentación de las tolvas en caliente inapropiada o escasa.
4. Enclavamientos eléctricos que detienen la instalación en caso de falla en cualquier parte del sistema.

MEZCLADO EN TAMBOR

Instalaciones básicas

El mezclado en tambor es un proceso de fundamentos simples que permite producir mezclas asfálticas calientes en una planta que no tiene zarandas para los agregados calientes, ni tolvas de almacenamiento en caliente ni mezclador de paletas (Figura 21). La instalación básica está formada por un sistema de alimentación en frío, un tambor secador-mezclador giratorio con aletas modificadas, un sistema de provisión y distribución del asfalto y una celda compensadora. A esta planta se la denomina también planta de "tambor secador".

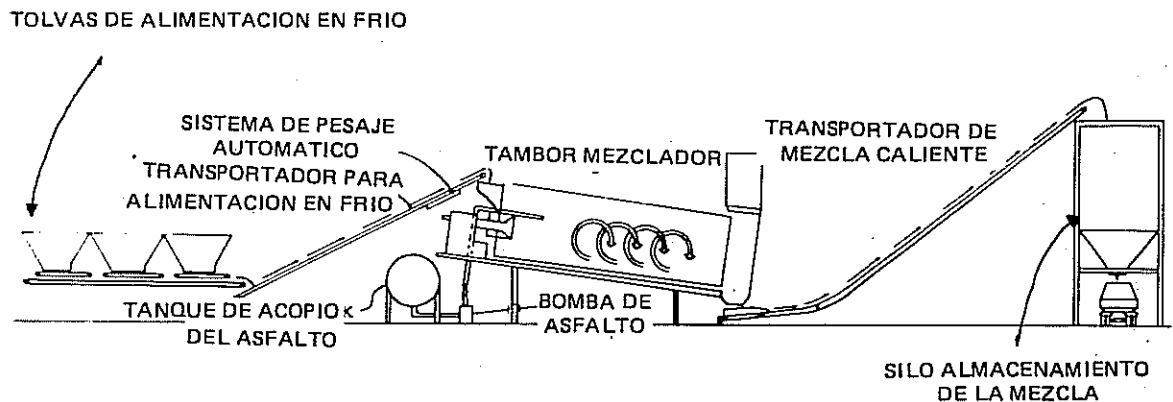


Figura 21. Planta asfáltica de mezclado en tambor (tambor mezclador)

Controles

En estas plantas se necesitan además los siguientes controles y equipos para asegurar un producto cuya calidad cumpla en todos los aspectos con las normas:

1. Controles individuales de la alimentación en frío, para cada tamaño de agregado.
2. Interconexión entre la alimentación en frío y el asfalto y aditivos cuando se usan
3. Sensores para determinar el contenido de humedad del agregado que permiten realizar las correcciones necesarias en las proporciones de materiales.
4. Medios para poder extraer muestras de todos los materiales componentes mientras la planta está en plena producción.
5. Controles automáticos del quemador.
6. Colector primario de polvo que pueda realimentar el material recogido.
7. Sensores para medir la temperatura de la mezcla caliente al descargarla.

Funcionamiento

El control de la granulometría del agregado se lleva a cabo en las operaciones de trituración y de acopio del mismo. Los alimentadores, que están controlados con exactitud, dosifican el agregado a medida que deja los depósitos en frío. Las cintas básculas que pesan y controlan continuamente los agregados combinados están interconectadas con una bomba medidora de asfalto para mantener una relación constante entre ambos. El asfalto se puede adicionar indistintamente en el punto de entrada del agregado o en distintas posiciones dentro del tambor. El agregado se seca y combina en el tambor, en donde también se le adiciona el asfalto. El quemador está en la parte superior del tambor, en el extremo de entrada del agregado. Esto significa que hay una circulación paralela de los gases del quemador y de la mezcla asfalto-agregados hacia el extremo de descarga. Algunas variantes en estas plantas hacen que los gases del quemador vayan contra la corriente y que la entrada de agregados esté en un punto medio. En el Tema L, Reciclado de Mezclas Calientes, se analizan otras variantes.

ELABORACION UNIFORME DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE

Continuidad de las operaciones

Uno de los requisitos esenciales para obtener una mezcla asfáltica caliente de alta calidad es la continuidad operativa de la planta; y para obtener un pavimento asfáltico estable y uniforme, es necesario pavimentar con continuidad. Si no hay continuidad en alguna de las dos, las consecuencias se reflejan en la calidad de la mezcla o de la mano de obra o en ambas. Si se interrumpe la pavimentación indefectiblemente por alguna razón independiente de la producción, debe detenerse el funcionamiento de la planta, a menos que se tomen otras medidas.

Con el advenimiento de la colocación de capas asfálticas en una sola operación con un espesor de 150 mm (6 pulg.) o más, la planta asfáltica es a menudo exigida al máximo para poder proveer un flujo adecuado de materiales a la pavimentadora. En algunos casos, la planta no es capaz de producir la mezcla con la velocidad requerida por la pavimentadora, a menos que se adopten otras disposiciones.

Almacenamiento de la mezcla asfáltica caliente

Muchas plantas asfálticas modernas cuentan con tolvas compensadoras o de almacenamiento, conectadas a la misma por sistemas de transporte. Las tolvas compensadoras permiten mantener la mezcla por períodos de tiempo relativamente cortos. Generalmente no están aisladas por cuanto se presume un tiempo de permanencia de solo dos o tres horas. Los silos de almacenamiento son similares a las anteriores excepto que están aislados para poder almacenar la mezcla por períodos más largos.

Estos silos, en general, son cilíndricos con una sección cónica en la base. Hay muchos sistemas

de transporte en uso, como ser: cintas transportadoras, elevadores de cangilones, montacargas por vía inclinada, transportador de tornillo sin fin y transportador de tablillas. Se comprobó mediante estudios que se pueden cargar los silos sin segregación y sin una caída de temperatura apreciable.

Los sistemas compensadores tienen ciertos beneficios porque se minimizan las paradas y puestas en marcha de la planta. Con una planta operando con más continuidad se reduce la heterogeneidad de la mezcla y la temperatura de arranque y de parada. También se minimiza la emisión extra de aire contaminado al poner en funcionamiento la planta. Al trabajar continuamente durante las horas normales de trabajo, y no sólo cuando hay camiones disponibles para ser cargados, se incrementa la productividad.



LECCION 2

MANEJO E INSPECCION DE PLANTAS ASFALTICAS - 1

INTRODUCCION

Cooperación entre el Ingeniero y el Contratista

Si se quiere obtener una construcción de alta calidad es muy importante una cooperación completa del ingeniero y el contratista. El primero representa al Comitente debiendo asegurar un nivel elevado de mano de obra a lo largo de todas las fases constructivas.

El ingeniero, sus inspectores y técnicos estarán bien informados sobre las plantas asfálticas y su manejo, no teniendo necesariamente que practicar ajustes en las instalaciones pero, si así fuera requerido, deben avisarle al superintendente de operación. Igualmente, el superintendente y sus técnicos no deben realizar ajustes que modifiquen el producto final sin consultar primero al ingeniero o al inspector.

Coordinación con las cuadrillas de pavimentación

La uniformidad y la continuidad son fundamentales para lograr una buena pavimentación asfáltica. Es más fácil obtener buenas condiciones para la circulación con una operación continua que con una interrumpida frecuentemente. Todas las demoras no se pueden evitar, pero son menos si las funciones de la planta y de la pavimentación están balanceadas.

Balance de la producción de la planta

Las plantas asfálticas pueden evaluarse según su capacidad para elaborar mezcla asfáltica, en megagramos (toneladas) por hora. A veces sólo se tiene en cuenta el tamaño del mezclador. Su capacidad horaria se calcula con dicho tamaño y el tiempo de mezclado necesario.

Sin embargo, es importante reconocer la influencia de otros componentes de la planta, como el alimentador en frío, el secador, la unidad de zarandeo y las tolvas de áridos calientes, que deben ser del tamaño y capacidad suficientes para lograr un flujo adecuado y continuo de materiales. Entre las limitaciones que se pueden presentar están las condiciones ambientales, las características de los agregados o las especificaciones de la mezcla. Por lo tanto, para obtener mejores resultados, los componentes de la instalación deben seleccionarse en base a las condiciones bajo las cuales va a operar la planta.

El "cuello de botella" más frecuente es el secador. Juega un papel fundamental en el rendimiento total de la planta. El porcentaje de humedad a extraer es el factor más importante para determinar la capacidad necesaria del secador.

La unidad zarandeadora también limita la capacidad de la planta ya que tiene una determinada aptitud para clasificar el material. Cuando se la carga más allá de ésta, aparece material fino en celdas que no le corresponden. A esto se lo llama arrastre.

Se debe reconocer también las limitaciones de otros componentes. La producción de la instalación se limita al ritmo de producción del componente de menor capacidad.

MANEJO Y ACOPIO DE MATERIALES

Acopio en pilas de los agregados

Los materiales pétreos se transportan generalmente al lugar de acopio cuando se está montando la planta. En esta etapa, el técnico dispone que se extraigan un número suficiente de muestras de tamaño adecuado, representativas del material recibido.

Se debe contar con áreas apropiadas para el acopio de cada tamaño de agregado. Los distintos agregados no deben superponerse ni mezclarse por fallas en las divisiones de las tolvas.

Las pilas de agregado se deben construir por capas. El espesor de las mismas depende del material y de la forma de colocarlo. Si se usa un camión cargador las cargas se deben vaciar una junto a otra cubriendo la totalidad de la superficie de acopio; el espesor de la capa lo determina el tamaño de la carga del camión.

Cuando se amontona el material con una grúa, cada balde cargado de material se debe depositar (no tirar) al lado de los adyacentes de manera que el espesor de la capa del acopio sea uniforme sobre toda el área. Cuando se usan canaletas o transportadores, se necesitan deflectores o chime-neas perforadas que restrinjan la segregación de cierto material.

Si se forma una pila cónica por caída libre del agregado desde una canaleta o desde cintas transportadoras, los materiales finos se vuelan y las partículas mayores ruedan por el costado, lo que causa la segregación de tamaños del agregado.

Almacenamiento del relleno mineral

El relleno mineral llega a la planta en cargamentos a granel o en bolsas. En ambos casos se lo debe proteger de la humedad.

Almacenamiento del asfalto

La planta debe estar dispuesta de forma tal que se pueda proveer fácilmente de asfalto al mezclador. Cerca del tanque de acopio debe haber una rampa de manera que para descargar, los transportadores se puedan poner en una posición inclinada para que el asfalto escurra completamente.

Si no se hacen ensayos del asfalto en la fuente, la capacidad de almacenamiento de la planta debe ser suficiente para mantener un funcionamiento continuo contando también con retrasos en los envíos y tiempo para los ensayos. Se deben realizar ensayos al recibir el material, para los que se extraen muestras en el transporte y se ensayan antes de aceptarlo para su uso en las mezclas asfálticas. Para que el funcionamiento de la planta sea continuo, se necesitan más de un tanque de reserva.

ALIMENTACION DE AGREGADOS FRIOS

Cargas de las unidades de acopio para la alimentación en frío

Durante la carga de los depósitos de material frío deben tomarse las precauciones necesarias para minimizar la segregación y degradación del agregado. Estos peligros pueden evitarse tomando las

precauciones indicadas anteriormente para el acopio correcto de los agregados. En todas las tolvas se debe mantener material suficiente para asegurar un suministro continuo y uniforme.

Si el agregado en frío se acopia sobre un túnel con cinta transportadora se debe tener cuidado en la forma de manejar el material sobre los alimentadores. Por ejemplo, la pala topadora que se usa para formar las pilas puede causar segregación y degradación. Debe cuidarse que estas máquinas no lleven barro, polvo y otro material a las pilas. Su vibración puede hacer que las partículas finas de la pila de árido grueso desciendan hacia el fondo, acumulándose en una capa inferior que después se empuja al alimentador, desequilibrando la alimentación. Esto se puede minimizar variando el recorrido de la topadora hacia el alimentador. También la acción abrasiva continua de las partículas que se mueven alrededor, puede causar degradación en ciertos tipos de áridos.

Si el nivel de acopio sobre el túnel se mantiene mediante un balde de arrastre o una cuchara de almeja, el operador debe tener cuidado de no recoger material del mismo punto del acopio general en dos cargas sucesivas.

Cuando se usa un cargador frontal, el operador no debe juntar el material de la pila a nivel de terreno. Se debe mantener la cuchara lo suficientemente elevada sobre el terreno para prevenir la contaminación al llenarla.

Si se usan camiones para cargar el depósito, éstos deben descargar directamente sobre el alimentador.

Cuando se llena el acopio con cintas sobreelevadas o con transportadores elevadores debe controlarse el flujo de materiales mediante deflectores instalados dentro de la tolva.

Calibración y ajuste de los alimentadores

Las compuertas de los alimentadores de áridos fríos se deben calibrar. Los fabricantes proveen una calibración aproximada de la abertura de las mismas, pero la única forma exacta de ajustarlas es preparando diagramas de calibración con los áridos empleados en la mezcla.

Para ello se coloca la compuerta en tres o más aberturas distintas y se opera el alimentador para cada una de ellas. Cuando el alimentador está funcionando normalmente, se pesa el material correspondiente a un cierto número de revoluciones en un recipiente. Se determina el flujo de material por revolución para esa abertura de la compuerta:

$$q = \frac{WR}{r} (1 - w) \quad (1)$$

donde

- q = peso seco del agregado, kg (lb) por min;
- W = peso de agregado medido, kg (lb);
- r = número de revoluciones para la medición;
- R = número de revoluciones por minuto; y
- w = contenido de humedad del agregado

Esta fórmula debe ser adaptada para los alimentadores de banda articulada, los de placa oscilante y las cintas alimentadoras.

Cuando se descarga sobre una cinta transportadora, para controlar la salida de material de una

compuerta, se cierran todas las demás. Se fija la compuerta a calibrar en uno de los puntos de calibración. Si las demás compuertas no se pueden cerrar completamente, debe detenerse el alimentador o desconectarlo si está manejado mecánicamente. Se comienza la alimentación en frío y se espera que alcance su velocidad normal de funcionamiento. Se detiene, se saca y pesa el material correspondiente a una sección medida. Se determina la cantidad de material entregado por minuto para esa abertura de compuerta usando la Ec. 1 y conociendo:

r = longitud de la sección de la cinta de donde se sacó el material, en m (pies); y
 R = velocidad de la cinta, en m (pies) por min.

Hecho esto para todas las compuertas que alimentan con agregado al secador, se prepara el gráfico de calibración marcando la abertura de la compuerta en milímetros (pulgadas) en el eje horizontal y el peso seco en kilogramos (libras) por minuto en el eje vertical (Figura 1). Así se puede determinar la abertura necesaria para lograr el suministro deseado que se calcula:

$$\frac{\text{Métrico}}{q = 0.167 TP} \qquad \frac{\text{Usual}}{q = 0.333 TP} \qquad (2)$$

donde

q = tasa de flujo requerida, en kg/min.
 T = producción de la planta, en Mg/h
 P = porcentaje en peso de la mezcla total

donde

q = tasa de flujo requerida, en lb/min.
 T = producción de la planta, en ton/h
 P = porcentaje en peso de la mezcla total

Por ejemplo, una planta produce 200 Mg (220,5 toneladas) de concreto asfáltico por hora. El material de la tolva fría N°1 está aportando una cantidad de agregado que constituye un 37 por ciento de la mezcla. La tasa de flujo requerida de la tolva N°1 es:

$$q = 0,167 (200) (37) = 1232 \text{ kg/min (peso seco)}$$

$$q = 0,333 (220,5) (37) = 2716 \text{ lb/min (peso seco)}$$

SECADO Y CALENTAMIENTO

Operación de secado

La mayoría de los secadores están diseñados para condiciones medias de humedad de los agregados. Un árido muy húmedo (Figura 2) reduce la capacidad del secador y por lo tanto es necesario implementar medidas correctivas; por ejemplo:

1. Se puede aumentar la cantidad de calor quemando más combustible pero manteniendo el suministro de agregados constante, o
2. Se puede reducir el suministro de agregados.

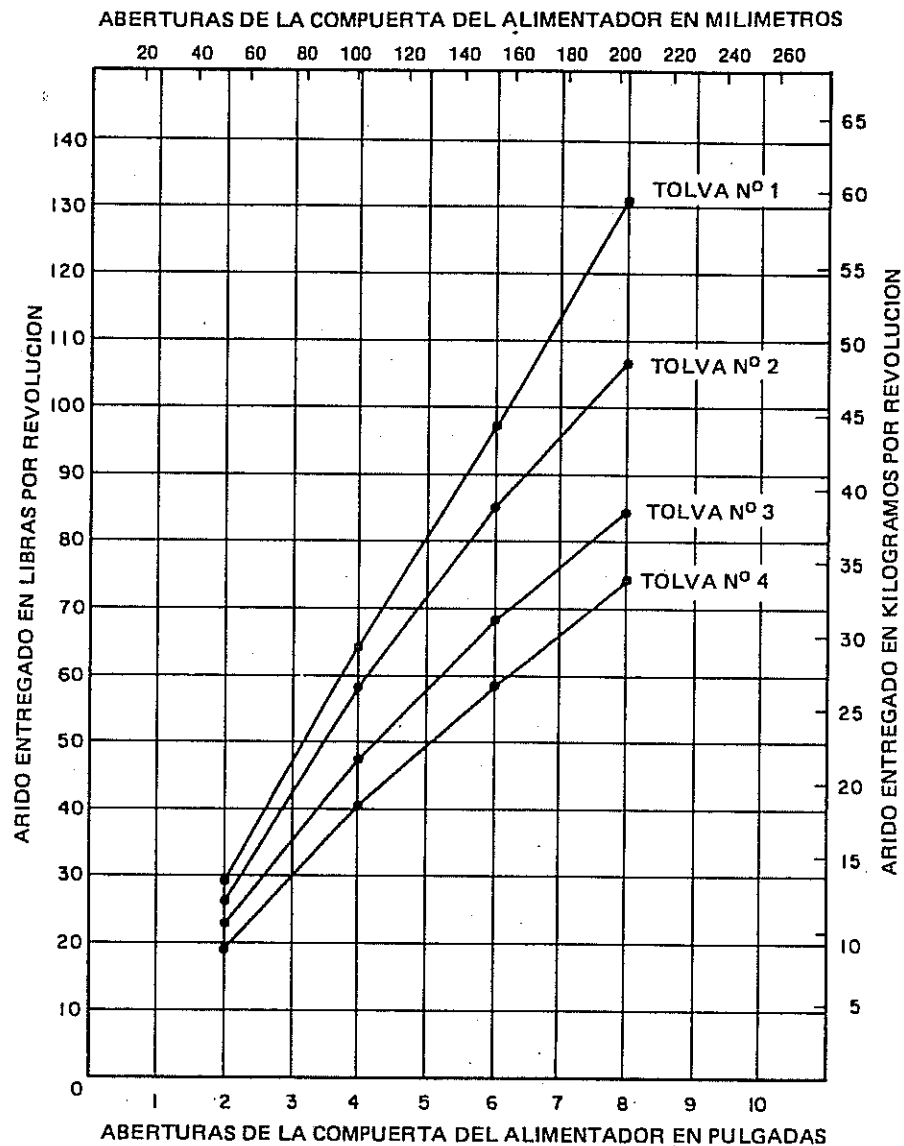


Figura 1. Diagrama de calibración para alimentación en frío de las tolvas

Se puede aumentar el calor hasta cierto límite sin incrementar la capacidad de tiro de la descarga. Por encima de este valor se incrementa el tiraje o reduce la velocidad del flujo de agregado. En regiones muy húmedas o cuando los áridos están excepcionalmente mojados pueden emplearse dos secadores unidos en serie o pasar el agregado dos veces por el mismo secador.

La mayor cantidad de problemas en el secado son consecuencia de pasar por el secador más material del que éste puede procesar. También hay otros factores que afectan la eficiencia, muchos de ellos relacionados con el quemador. Si se usa un quemador de petróleo es importante usar la calidad de combustible apropiado. El soplador debe atomizar correctamente a este combustible. Se debe balancear la velocidad del aire del tiraje que se combina con el fuel oil de combustión atomizado, con el aire del soplador y la cantidad de fuel oil que alimenta al quemador. Si no se propor-

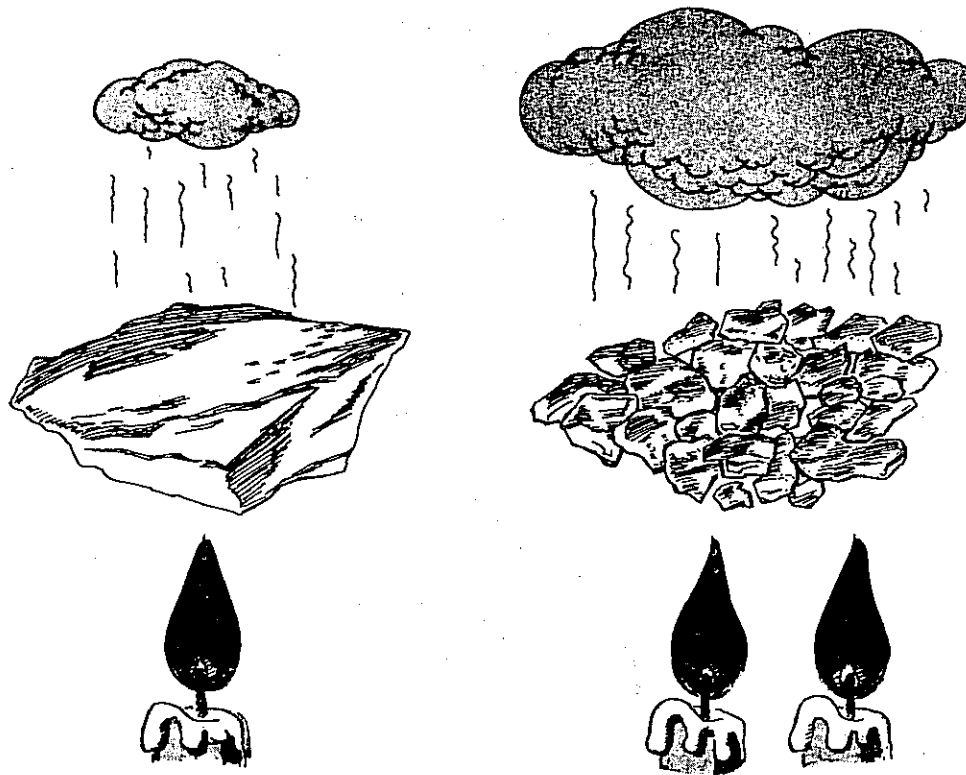


Figura 2. El agregado fino retiene más humedad que el agregado grueso, y necesita más calor para su secado

cionan equilibradamente el aire del soplador, el aire del tiraje y la cantidad de fuel oil, puede producirse una combustión incompleta del combustible que deja sobre las partículas del agregado una capa aceitosa perjudicial para la mezcla terminada. Un indicador de esto es que la chimenea de descarga despiden humo negro.

Si las velocidades del aire del soplador y del aire del tiraje no están balanceadas se puede producir contrapresión en el tambor del secador. Esto crea un "soplido" en el extremo correspondiente al quemador que indica que el tiraje no es suficiente para eliminar la presión producida por el soplador del quemador. La solución es aumentar el tiraje de aire o reducir la presión del soplador.

Los quemadores que consumen gas natural o gas líquido de petróleo rara vez dan lugar a problemas de combustión. Sin embargo, también en ellos es posible el desequilibrio entre la presión de gas, el aire de combustión y el tiraje. El tipo de quemador de gas a utilizar debe estar acorde a la presión de gas disponible.

Polvo colectado

Si el material recogido en el colector de polvo se puede recombinar satisfactoriamente con los agregados, parte de él o su totalidad debe hacerse volver a la instalación para incluirlo en la mezcla. La cantidad empleada dependerá de la granulometría de la mezcla terminada. Si el polvo colectado no es apropiado, o lo prohíben las especificaciones de la mezcla o excede de la cantidad necesaria se lo debe almacenar en una tolva para luego tirarlo o darle otro uso.

ZARANDEO Y CLASIFICACION

Tamaño y capacidad de la zaranda

Para separar adecuadamente los agregados en los tamaños especificados se usan zarandas para el material caliente. Las divisiones de los depósitos en caliente se determinan con un gráfico de las especificaciones del agregado total. Deben hacerse de forma tal de balancear la cantidad de material en cada depósito. El tamaño de abertura de 3,35mm (N^o6), sin embargo, es el más pequeño que se usa en la práctica. Para una partición entre cuatro tolvas (Figura 3), el material mayor que el tamiz de 3,35mm (N^o6) está dividido proporcionalmente entre las otras tres celdas. En las unidades vibratorias de clasificación de las plantas asfálticas, se usan zarandas que tienen aberturas ligeramente mayores para poder clasificar el agregado en los tamaños de tamices especificados para los ensayos (Ver Tabla 1).

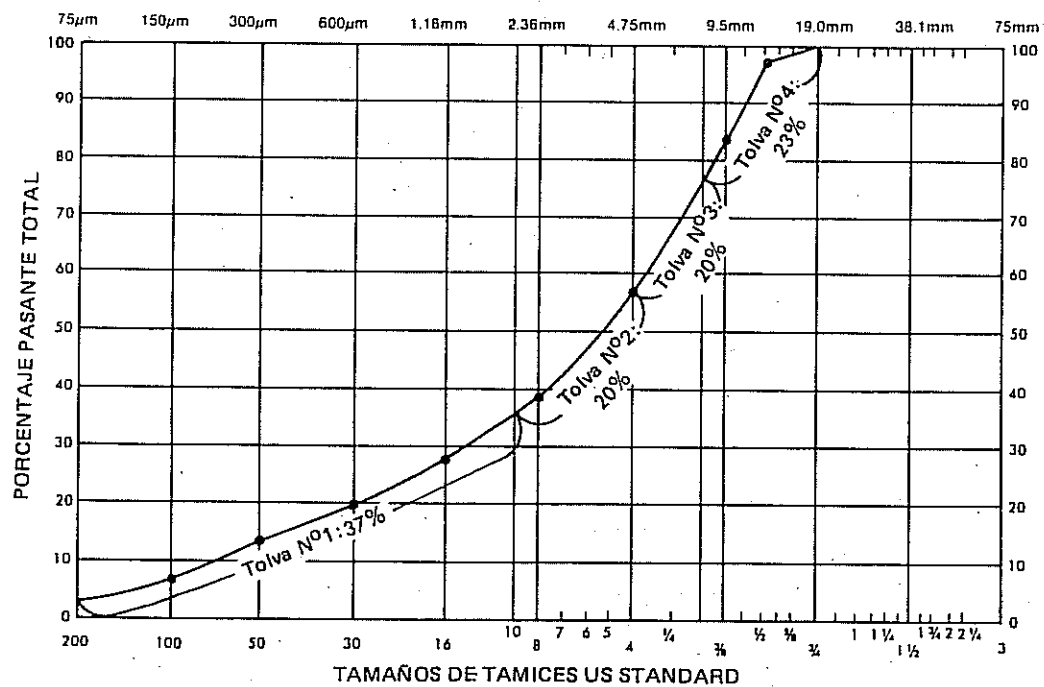


Figura 3. Elección de la partición de tamaños para cuatro tolvas de almacenamiento

Las zarandas están dispuestas de forma tal que las partículas de menor tamaño caen en la primera tolva y las partículas de mayor tamaño en las otras tolvas. En la Figura 4 se muestra un arreglo 3 1/3 de la pila de zarandas con el tamaño real de las aberturas cuadradas de las zarandas vibratorias. Como se ilustra en la Figura 3 estas medidas son las que se usan también para separar al agregado por tamaños.

Los megagramos (toneladas) por hora procesados por metro cuadrado (pies) de superficie de zaranda varían porque la capacidad de zarandeo es función del tipo de zaranda, del agregado y de los requerimientos de las especificaciones.

TABLA 1 TABLA DE SELECCION DE ZARANDAS

Tamaño tamiz U.S. Std.	Tamaño real de aberturas cuadradas de zarandas vibratorias	Tamaño tamiz U.S. Std.	Tamaño real de aberturas cuadradas de zarandas vibratorias
3.35 mm (No. 6)	3.96 mm (5/32 pulg)	16.0 mm (5/8 pulg)	19.0 mm (3/4 pulg)
4.00 mm (No. 5)	4.76 mm (3/16 pulg)	19.0 mm (3/4 pulg)	22.4 mm (7/8 pulg)
4.75 mm (No. 4)	6.3 mm (1/4 pulg)	22.4 mm (7/8 pulg)	25.0 mm (1 in.)
6.3 mm (1/4 pulg)	8.0 mm (5/16 pulg)	25.0 mm (1 pulg)	28.6 mm (1-1/8 pulg)
8.0 mm (5/16 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	31.5 mm (1-1/4 pulg)	34.9 mm (1-3/8 pulg)
9.5 mm (3/8 pulg)	11.2 mm (7/16 pulg)	38.1 mm (1-1/2 pulg)	41.3 mm (1-5/8 pulg)
11.2 mm (7/16 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	45 mm (1-3/4 pulg)	50 mm (2 pulg)
12.5 mm (1/2 pulg)	14.3 mm (9/16 pulg)	50 mm (2 pulg)	57 mm (2-1/4 pulg)

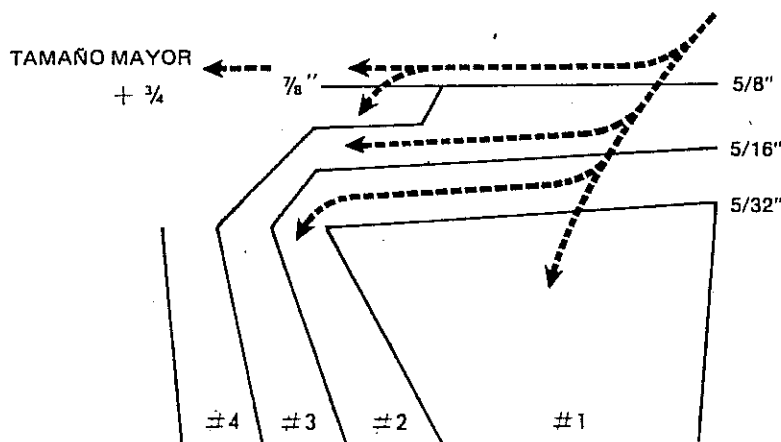


Figura 4. Disposición 3-1/3 de un paquete de zarandas para cuatro tolvas de almacenamiento de material en caliente

La tabla 2 es una guía general para determinar la capacidad de la zaranda, para agregados secos y en donde no haya problemas de zarandeo. Se supone que la zaranda retiene el 25 por ciento de su carga y lo manda al depósito para mayor tamaño. Por ejemplo, la zaranda de 9,5 mm (3/8 pulg) de abertura, para una sección del paquete de 1,2 x 3m² (4 x 10³ pies), va a tener una capacidad de 118 Mg/h (130 toneladas por hora) aproximadamente. Si el 77 por ciento supera los 8,0 mm (5/16 pulg) (tamaño de la división de tolvas) entonces la zaranda debe procesar aproximadamente

Métrico	Usual
$\frac{118}{0.77} = 153 \text{ Mg/h}$	$\frac{130}{0.77} = 169 \text{ ton. por hora}$

Los fabricantes de US hacen paquetes de zarandas sólo para las unidades usuales de US.

para la carga total de la zaranda. Para asegurar que no se retiene más del 25 por ciento de la carga de la zaranda:

Métrico

$$\frac{(153-118)}{153} 100 = 23 \text{ por ciento}$$

Usual

$$\frac{(169-130)}{169} 100 = 23 \text{ por ciento}$$

TABLA 2 CAPACIDAD DE LA ZARANDA VIBRATORIA

Tamaño de la abertura libre de la zaranda	Mg/hr/m ² (tons/hr/ft ²)	Mg/hr (Tons/hr) para		
		0.91 m x 2.44 (3' x 8')	1.22 m x 3.05 m (4' x 10')	1.22 m x 4.27 m (4' x 14')
4.76 mm (3/16 pulg)	20 (2)	45 (50)	73 (80)	100 (110)
6.3 mm (1/4 pulg)	29 (2½)	54 (60)	91 (100)	127 (140)
9.5 mm (3/8 pulg)	32 (3¼)	73 (80)	118 (130)	163 (180)
12.5 mm (1/2 pulg)	37 (3¾)	82 (90)	136 (150)	191 (210)
16.0 mm (5/8 pulg)	42 (4¼)	91 (100)	154 (170)	209 (230)
19.0 mm (3/4 pulg)	46 (4¾)	104 (115)	172 (190)	240 (265)
22.4 mm (7/8 pulg)	51 (5¼)	113 (125)	191 (210)	268 (295)
25.0 mm (1 in.)	56 (5¾)	127 (140)	209 (230)	290 (320)

Nota: Los valores de esta tabla no son ni el máximo ni el mínimo que se puede esperar. La capacidad va a estar afectada por muchos factores, incluyendo el contenido de humedad del agregado, granulometría del material, carga de la zaranda vs. cantidad que pasa y medida del alambre de la zaranda. Las zarandas para uso en US se fabrican sólo en las medidas usuales.

Eficiencia de la zaranda

El rendimiento de la zaranda depende en gran medida del estado de conservación y limpieza de la misma. Si el área efectiva se reduce por obstrucción de las aberturas o si se vierte sobre ella material en exceso, el resultado más usual es que aparece el arrastre de unos tamaños por otros.

Si una zaranda se desgasta excesivamente, las aberturas se agrandan y aparecen agujeros (Figura 5). En las tolvas correspondientes aparece material de mayor tamaño. Generalmente una pequeña cantidad de este material no produce daño, siempre y cuando la cantidad no fluctúe demasiado o exceda los requerimientos de las especificaciones.

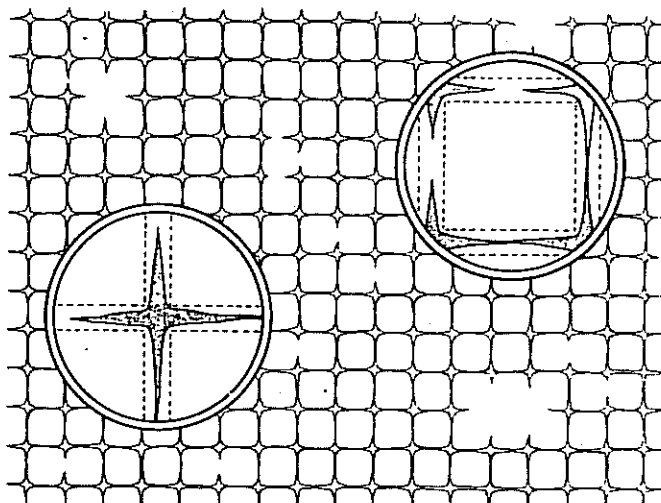


Figura 5. Desgaste de la zaranda

Arrastre

Cuando se obstruyen las aberturas de las zarandas o cuando se las alimenta con demasiado material, muchas de las partículas que tendrían que pasar a través de las zarandas permanecen sobre las mismas y caen en un depósito para tamaño mayor. El arrastre consiste en la aparición de material fino en una tolva que debería contener áridos del tamaño inmediatamente superior.

El arrastre variable produce una pérdida de uniformidad en la granulometría de los áridos y en la mezcla. El arrastre excesivo aumenta la cantidad de agregado fino en la mezcla total y por lo tanto el área superficial a cubrir con asfalto es mayor. El arrastre excesivo, o sus fluctuaciones, se pone en evidencia al hacer el tamizado para cada tolva de material en caliente. Esto se puede corregir limpiando las zarandas, regulando la cantidad de material que viene del alimentador en frío o con una combinación de ambas. La condición de arrastre se presenta frecuentemente donde se limita el área de zarandeado fino (tolva número 1). En el zarandeo normal se permite cierto arrastre pero la cantidad admisible para cada tolva está especificada.

Es recomendable, antes de comenzar el trabajo del día, realizar una inspección visual de la limpieza de las zarandas debiendo limpiarlas cuando su estado lo exija.

Tolvas de material caliente

Los depósitos de material caliente deben ser lo suficientemente grandes para que el material no se agote cuando el mezclador está trabajando a capacidad plena. Sus separaciones deben ser herméticas, sin orificios y de altura suficiente para impedir la mezcla de los agregados de distintos tipos. Cada tolva debe estar provista de un aliviadero para evitar que los agregados puedan caer en las otras tolvas. Se debe controlar frecuentemente que no estén tapados, porque si se mezclan los agregados, se descarrige la clasificación especificada.

Muchas veces la fracción fina del agregado tiende a quedar adherida en los ángulos de la tolva. Cuando estas acumulaciones se desprenden aparece un exceso de finos en la mezcla. Esto se produce generalmente cuando la tolva está casi vacía. Esta situación puede corregirse soldando pletinas en chanfle para eliminar los ángulos de 90 grados en los rincones del depósito.

Otros problemas que pueden presentarse en la obtención de una buena mezcla son la escasez o exceso de material en alguna tolva, la fuga de áridos hacia la tolva de pesaje y la condensación en las paredes de las tolvas.

El exceso o defecto de material en las tolvas puede corregirse modificando la alimentación en frío. Por ejemplo, si el tamaño menor del N^o6 (tolva N^o1) está rebalsando mientras es necesario esperar por el mayor de 5/16 pulg. (tolva N^o3), se debe disminuir un poco la abertura de la tolva fría que aporta la mayor parte del material menor del N^o6 y se debe abrir un poco la compuerta de la tolva fría que provee la mayor parte del material de mas de 3/16 pulg.. Si la tolva de agregado grueso está rebalsando mientras las otras dos se mantienen a un nivel correcto, está entrando mucho material total. Por lo tanto, se debe disminuir ligeramente la tolva fría que provee la mayor parte del agregado al depósito del grueso.

No es bueno hacer dos ajustes al mismo tiempo. Por ejemplo, si se sabe que la alimentación total es deficiente y también que una de las tolvas está un poco pesada, conviene ajustar primero la alimentación total y después hacer un nuevo ajuste en la alimentación relativa de las distintas tolvas.

La condensación aparece cuando el vapor de la humedad del agregado y del aire se condensa en las paredes del depósito. Generalmente ocurre al comenzar las operaciones del día o cuando el agregado grueso no está totalmente seco. Esto hace que se acumule polvo que luego cae de golpe agregando finos en exceso a la mezcla.

Toma de muestras de las tolvas

La mayoría de las plantas asfálticas modernas para mezcla en caliente cuentan con dispositivos

para extracción de muestras de las tolvas de agregado en caliente. Están diseñados para desviar el flujo de agregados desde los alimentadores o las compuertas a recipientes de muestreo ubicados debajo de las tolvas. En las plantas por pastones el mejor lugar para obtener muestras son las compuertas de las tolvas durante la caída del material a la tolva de pesado. En las plantas continuas la muestra se saca mejor en las compuertas del alimentador, al depositarse el material en el elevador que lo conduce al mezclador. Es esencial que los dispositivos para toma de muestras estén contruídos y ubicados de tal forma que las muestras obtenidas sean representativas del material contenido en las tolvas.

Al pasar el material por las zarandas de la planta, en particular en la tolva N^o1, las partículas más finas caen en el lado más próximo de las tolvas, y las más gruesas en el mas lejano (Figura 6). Cuando se extrae material abriendo la compuerta del fondo de la tolva, el flujo contiene predomi-

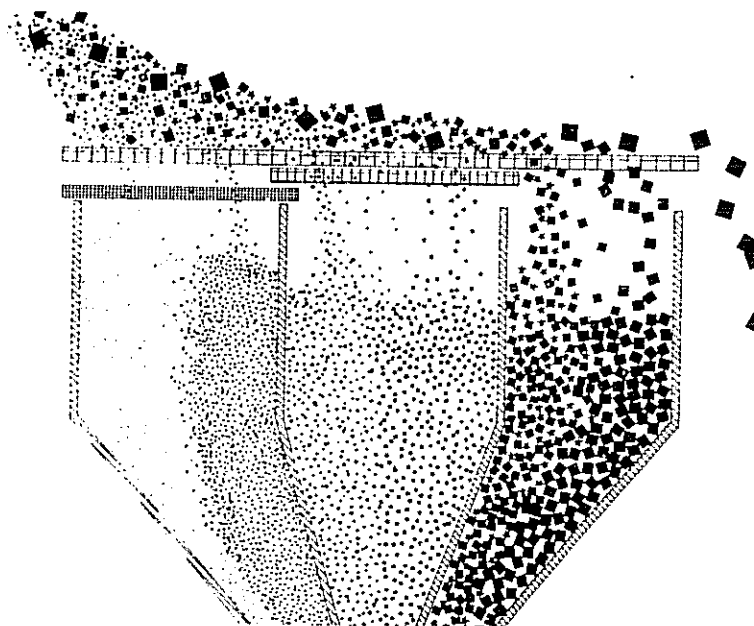


Figura 6. Segregación del material en las tolvas en caliente

nantemente material fino en un borde y material grueso en el otro. Esta condición es crítica en la tolva N^o1 (fina), porque este material influye considerablemente en la determinación de la necesidad de asfalto. Por ello, la posición relativa del dispositivo de toma de muestras (Figura 7) en la corriente de material determina si la muestra va a estar compuesta solo por material fino, grueso o va a ser representativa del material contenido en la tolva (Figura 8).

La estratificación de tamaños en la tolva de agregados finos puede deberse a la variación de la granulometría en la pilas de acopio o a una irregularidad en la alimentación de agregados finos. Cuando aparece esta forma de segregación, no se pueden obtener muestras representativas aunque se use correctamente el dispositivo de muestreo.

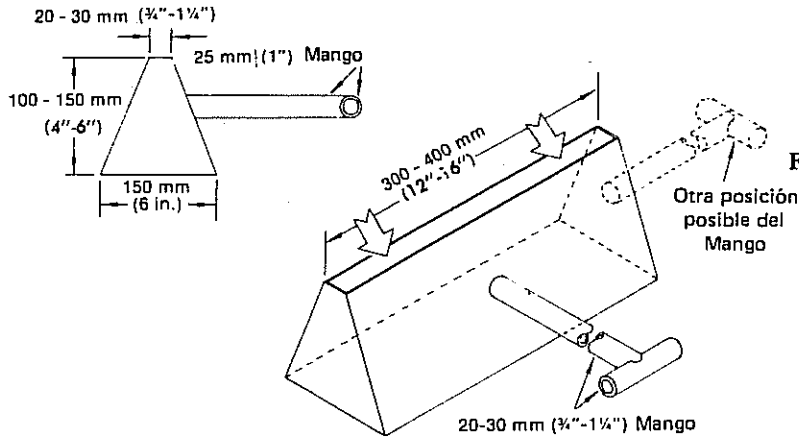
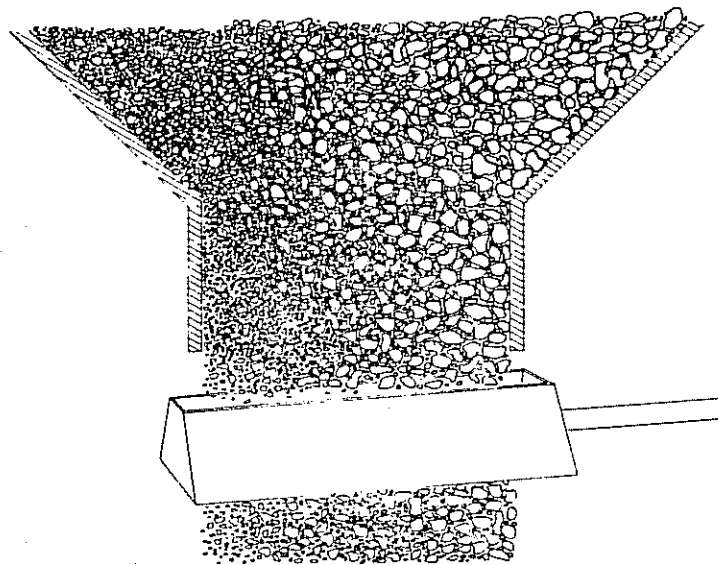


Figura 7. Dispositivo de toma de muestras de agregado en la planta asfáltica

Figura 8. Empleo correcto del tomamuestras



Control del filler mineral

Cuando se añade relleno mineral a la mezcla, se debe controlar frecuentemente la cantidad empleada. Un método consiste en determinar la cantidad de filler que se usa durante la carga de varios camiones. Debe hacerse ésto y un control visual frecuente, además de la calibración de las aberturas de las compuertas o de los mecanismos de pesaje. La abertura de la compuerta es pequeña y por lo tanto, materiales extraños, como pedazos de papel de las bolsas que contiene al filler, pueden obstruir el paso y reducir considerablemente el volumen del relleno mineral agregado a la mezcla. Deben tomarse precauciones para mantener el filler seco porque si se humedece puede también impedir el adecuado flujo de material. Se debe controlar cuidadosamente y con frecuencia la calibración del alimentador y los mecanismos de pesaje.

Funcionamiento de Instalaciones sin zarandas

Las plantas asfálticas, particularmente las discontinuas, que tienen y pueden mantener cierto control preciso sobre la alimentación de agregados fríos, han producido mezclas para pavimentación de alta calidad sin trabajar con la unidad de clasificación del agregado. (Los silos de áridos calientes requieren ciertas modificaciones para que funcionen como una sola tolva durante el proceso). Las tolvas calientes sirven como almacenamiento temporario entre pastones del agregado caliente.

Con este tipo de operación de la planta se eliminan las posibles limitaciones de la producción y las demoras ocasionadas por la unidad de zarandeo. También elimina la necesidad de muestreos y dosificaciones frecuentes de las tolvas de áridos calientes para determinar los pesos de los pastones. Pero se necesitan reservas de agregados fríos que no varíen excesivamente de granulometría durante su manipuleo. Para lograr una graduación estable se debe ayudar con un manejo cuidadoso de los agregados en su producción, transporte y almacenamiento. También requieren un control estricto, ahora más importante, del ajuste de la alimentación de agregados fríos. Después de obtener muestras y dosificar los agregados fríos, se extraen muestras del agregado combinado de la alimentación en frío.

En las tolvas de material caliente se deben hacer ciertas modificaciones para que no se produzca una segregación de tamaño, indebida del agregado caliente cuando deja el secador. Se obtiene un buen resultado poniendo deflectores y defensas en la parte superior de las tolvas. En algunos casos se modifican las tolvas para que reciban el agregado en la N^o1 pero lo descarguen por la abertura de la N^o2.

TEMPERATURAS

Determinación de la temperatura de mezclado

La temperatura de mezclado de concretos asfálticos es función de los requerimientos para lograr un agregado seco, obtener un buen recubrimiento de la partícula y para su distribución y compactación. El agregado debe estar lo suficientemente seco para que no se forme espuma, haya asentamiento en la mezcla final o cualquier otro efecto de la humedad que pueda afectar adversamente su colocación o comportamiento en servicio. Esto significa entonces, que la temperatura del agregado calentado y secado controla a la temperatura de la mezcla asfalto-agregado en el mezclador. La temperatura del asfalto se ajusta rápidamente a la del agregado cuando se los mezcla.

Se debe usar la temperatura más baja posible que cumpla con estos objetivos para reducir el endurecimiento del asfalto y los gastos de energía. Por lo tanto, las temperaturas de mezclado inmediatamente después de la descarga del mezclador deben ser tan bajas como sea posible para lograr un buen recubrimiento y compactación, pero no más de 163°C (325°F).

Temperaturas del agregado

La temperatura del agregado controla la de la mezcla; y la temperatura de mezclado debe basarse en las necesidades exigidas para la distribución y compactación de la mezcla. A la salida del secador se debe instalar un aparato para medir la temperatura del agregado que sea visible con facilidad por el operador del quemador. Este aparato es uno de los accesorios de control más importantes de la planta y debe ser un instrumento exacto y confiable.

El elemento sensor de este indicador de temperatura debe tener un revestimiento protector suficientemente resistente para protegerlo de la abrasión producida por el agregado, pero no de tanto espesor que de lugar a una lectura errónea de la temperatura. Debe estar ubicado de forma tal de evitar la acumulación excesiva de polvo sobre él que puede dar lugar a una excesiva inercia en la medición de la temperatura.

Se debe controlar frecuentemente la exactitud de estos instrumentos de medición de temperatura. Una forma sencilla de hacerlo es colocar el elemento sensor, juntamente con un termómetro exacto, en un baño de aceite. Se calienta el aceite y se hacen lecturas comparativas de ambos instrumentos cuando el aceite se acerca a la temperatura de mezclado.

Temperaturas del asfalto

Para asegurar el control de la temperatura del betún se debe colocar un termómetro blindado o un pirómetro con un registrador cerca de la boca de descarga en la cuba del mezclador en la tubería de alimentación del asfalto. El tanque de reserva debe tener también un termómetro registrador que pueda cubrir un tiempo mínimo de 24 horas. El asfalto debe estar a la temperatura de mezclado deseada o cercana a ella cuando se lo agrega al árido caliente en el mezclador.

LECCION 3

MANEJO E INSPECCION DE PLANTAS ASFALTICAS - 2

Objetivo: Explicar el manejo y la inspección de las plantas asfálticas durante la elaboración de mezclas asfálticas calientes.

MEZCLADO EN PLANTA INTERMITENTE	E43
Dosificación de materiales	E43
Básculas para agregados	E43
Básculas para asfaltos	E43
Medidores de asfalto	E44
Carga del mezclador	E44
El mezclador	E45
Tiempo de mezclado	E46
MEZCLADO EN PLANTA CONTINUA	E46
Dosificación de agregados	E46
Medición del asfalto	E47
Regulación de la unidad alimentadora	E47
Mezclador de paletas	E48
Tiempo de mezclado	E48
Control del contenido de asfalto	E49
OPERACIONES DEL TAMBOR MEZCLADOR	E50
Sistema de control de las instalaciones	E50
Pesaje del agregado	E50
Medición y suministro del asfalto	E50
Corrección por humedad	E50
TAREAS DIVERSAS	E51
Inspección de camiones	E51
Observación de la mezcla	E51
Medición del tiempo de elaboración	E52
TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS	E53
Propósito de los ensayos	E53
Programación de la toma de muestras	E54
Diseño de la mezcla de obra	E54
REGISTROS E INFORMES	E55
Generalidades	E55
Diario	E55
Informe diario	E55
Informe mensual	E57

LECCION 3

MANEJO E INSPECCION DE PLANTAS ASFALTICAS - 2

MEZCLADO EN PLANTA INTERMITENTE

Dosificación de materiales

Es muy importante que los agregados incorporados en frío estén dosificados correctamente ya que el material en las tolvas calientes es el mismo agregado de la alimentación en frío excepto por cualquier degradación que pueda haber sufrido durante el secado y el zarandeo, y la pérdida de finos a lo largo del sistema de descarga. La única diferencia es que en las tolvas calientes el agregado está separado en tamaños específicos.

Si el material de las tolvas calientes se recombina en las mismas proporciones en las que se lo puso en cada tolva, la granulometría resultante va a ser la misma que antes de separarlo en tamaños. El material de las tolvas se dosifica de manera tal que la graduación resultante sea la de la fórmula de la mezcla en obra. Las proporciones de material que salen de las tolvas en caliente tienen que ser similares a las de los materiales depositados en cada tolva porque la dosificación de los materiales de la alimentación en frío se hizo de manera semejante. En las lecciones anteriores se analizó la combinación de los agregados y la regulación de las compuertas de alimentación.

Básculas para agregados

Se suspende una tolva de pesaje, completamente cerrada por una pantalla contra el polvo, de una báscula de balancín de forma tal de asegurarse que se mueva libremente. Se debe controlar que el sistema de palanca, las cuchillas y los rodamientos estén limpios y que ninguna parte móvil roza con otro elemento cualquiera. El indicador de la balanza debe moverse libremente y mantenerse en cero cuando no hay carga.

La tolva de pesaje y las básculas deben controlarse con diez pesas de 25-kg o 50-lb. Con las zarrandas en funcionamiento, se adicionan 250 kg o 500 lb exactas de agregado. Se agregan nuevamente pesas de control y se repite el procedimiento hasta alcanzar el peso total del pastón.

Para cada incremento de 250-kg o de 500-lb se debe hacer una comprobación de sensibilidad colocando en la báscula una pesa de 2,5-kg o de 5-lb y verificando el movimiento inmediato del marcador. Si las básculas no cumplen con las exigencias de las especificaciones en cuanto a exactitud y sensibilidad, no se permitirá el funcionamiento de la planta hasta que se hayan hecho las correcciones o sustituciones necesarias.

Básculas para asfalto

La báscula para asfalto se calibra de forma muy similar a la anterior, pero se necesita sólo una operación de pesado. Se colocan pesas normalizadas en el recipiente para asfalto, o se unen a él; cada vez que se agrega una pesa se anotan las lecturas. Se continúa así hasta que el peso total exceda ligeramente los kilogramos (libras) de cemento asfáltico necesarios por pastón de mezcla para pavimentación. Las básculas para asfalto están realmente ajustadas cuando indican el mismo valor que el total de pesas normalizadas usadas. Si el error excede el margen que permiten las especificaciones, la planta no puede operar hasta que un técnico de básculas competente las ajuste o repare.

Se debe observar cuidadosamente la tara del balde de asfalto vacío para ver si el balde es drenado completamente y para compensar el peso adicional del polvo o asfalto adherido al mismo. Debe tararse al principio de cada día y controlarlo después de descargar las primeras cargas. Muchas veces se acumula asfalto en los laterales y fondo del balde y se solidifica durante la noche. Esto afec-

ta la tara y reduce el peso del asfalto usado realmente en la mezcla.

Para lograr una lectura del cero exacta, las básculas para asfalto no se deben controlar hasta que el aceite caliente o el vapor estén alrededor del balde de asfalto y del mezclador.

Medidores de asfalto

Los medidores de asfalto son mecanismos de desplazamiento de volumen, y cuando se los usa debe controlarse su exactitud. Se debe establecer la relación que existe entre las lecturas del medidor y el peso, ya que el contenido de asfalto se expresa generalmente como porcentaje en peso.

Un método simple para relacionarlos es leer el medidor, bombear una cantidad dada de asfalto sobre un recipiente tarado y volver a leer el medidor. La relación entre el peso del asfalto y la diferencia de las lecturas del medidor, determina el peso de asfalto bombeado por división del medidor.

La viscosidad y el peso unitario del asfalto cambian con la variación de la temperatura. Cuando ésta aumenta, la viscosidad decrece. El peso unitario disminuye en 1 por ciento aproximadamente para un incremento de temperatura de 15°C (28°F). El cambio de temperatura también influye en el rendimiento del bombeado y por lo tanto conviene tener calibrada la bomba para cierto intervalo de temperaturas del asfalto. Si es necesario se pueden determinar luego los volúmenes y viscosidades que se usan para calibraciones y gráficos.

Algunos medidores de asfalto tienen dispositivos compensadores de temperatura que corrigen el flujo de asfalto cuando varía la temperatura. Si el medidor no cuenta con este dispositivo, se debe corregir el suministro para cada cambio en la temperatura del asfalto.

Carga del mezclador

A menos que la planta cuente con equipos para la descarga simultánea de material de todos los silos, el agregado de las tolvas en caliente se deriva hacia la tolva de pesaje comenzando por los de mayor tamaño y disminuyendo progresivamente hasta el tamaño más fino, agregando el filler en último lugar. Esto permite que los áridos vayan mezclándose a medida que caen en el mezclador. En las básculas se pesa acumulativamente la cantidad de material de cada tolva. Por ejemplo, se supone que se mezcla un pastón de 200 kg (4409 lb) usando los ajustes de las básculas determinadas como se muestra en la Figura 1. El operador debe marcar cuidadosamente la lectura de la báscula para el material que entrega cada depósito. El asfalto se pesa individualmente y se lo debe introducir y distribuir con uniformidad y rapidez en el mezclador. De lo contrario la mezcla puede no tener uniformidad.

Se deben controlar las válvulas de paso del asfalto para que su acción sea efectiva. Deben cerrar perfectamente para que no gotee asfalto una vez que se lo ha vertido en el recipiente de la báscula o se ha descargado de él la cantidad deseada.

Después que se depositó el agregado de la tolva de pesaje en el mezclador, se introduce el asfalto. El mezclado húmedo comienza al adicionar el asfalto.

Pastón: 2000 kg (4409 lbs)
 Contenido asfalto: 5,5%
 Agregados: 2000-2000 (.055) = 1890 kg
 (4409-4409 (.055) = 4166 lbs)

Tolva	%	kg	lb	Lect. Balanza kg (lbs)
4	12	227	(500)	227 (500)
3	20	378	(833)	605 (1333)
2	28	529	(1167)	1134 (2500)
1	36	680	(1499)	1814 (3999)
MF	4	76	(167)	1890 (4166)
		1890	(4166)	

Figura 1. Ejemplo de cálculo para determinar la lectura de la báscula de la tolva de pesaje de agregados

El mezclador

Todas las partes del mezclador deben estar en buenas condiciones mecánicas y reguladas correctamente. Las caras de las paletas puede ajustarse con distintas combinaciones. El manual de operación del fabricante da detalles para colocarlas correctamente.

La luz entre las cabezas de las paletas y el encamisado interior depende del tamaño máximo del árido y, normalmente, será inferior a la mitad del diámetro máximo del agregado. Si las paletas están muy gastadas o rotas y no se las reajustó o reemplazó pueden aparecer zonas muertas.

Si el mezclador está excesivamente lleno puede producirse una mezcla no homogénea (Figura 2). Se obtiene la máxima eficiencia de operación cuando los extremos de las paletas apenas son visibles durante el mezclado, sobre el material en el extremo superior de su recorrido. El material sobre este nivel tiende a flotar sobre las paletas y no se mezcla. Por otro lado, un pastón insuficiente tampoco va a ser mezclado adecuadamente porque no existirá material suficiente para que las paletas lo hagan circular de la forma deseada (Figura 3). Se puede reducir ambas condiciones si se siguen las recomendaciones del fabricante del mezclador discontinuo. Normalmente, esto se basa en el porcentaje de la capacidad de la "zona activa" del mezclador (Figura 4) que es el volumen en metros cúbicos (pies) por debajo de una línea tangente al recorrido en la parte superior, que se extiende entre las paredes interiores del mezclador. Se restan los volúmenes de los ejes, camisas, paletas y puntas.

Una inspección visual de la mezcla y los ensayos indican si el mezclador está funcionando bien o si el mezclado es completo.

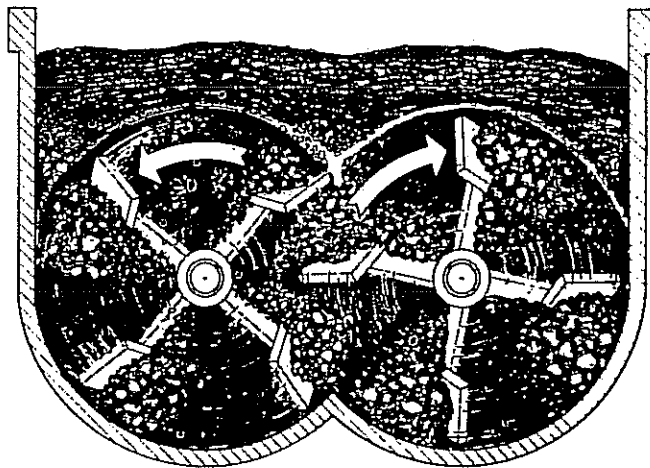
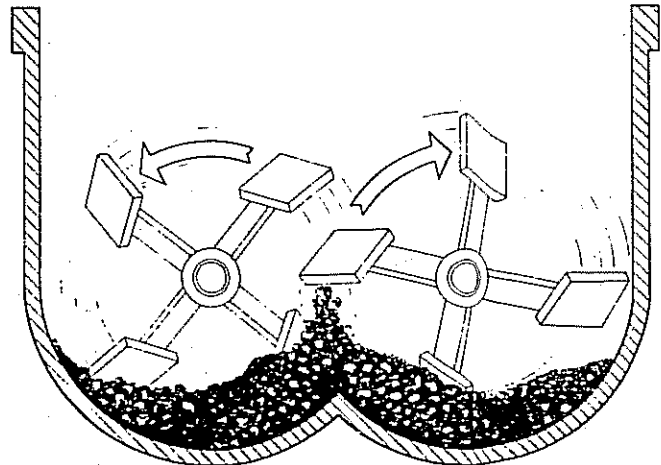


Figura 2. Mezclador excesivamente lleno

Figura 3. Mezclador poco lleno



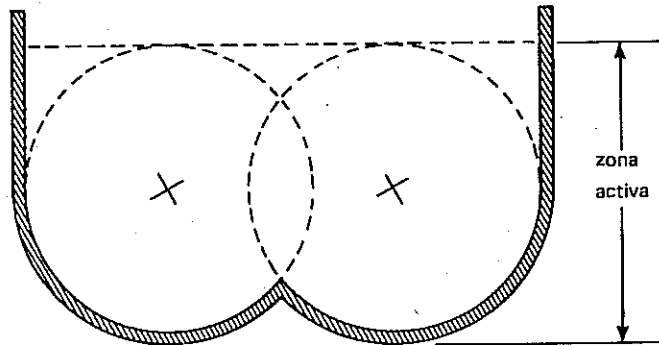


Figura 4. "Zona activa" del mezclador

Tiempo de mezclado

El tiempo de mezclado total comienza cuando se colocan en el mezclador los agregados minerales combinados y el asfalto, y finaliza con la abertura de la compuerta de descarga. No se considera el mezclado en seco, por ello el tiempo total de mezclado es el correspondiente al tiempo de mezclado húmedo.

El tiempo de mezclado debe ser el más corto compatible con una distribución uniforme de los tamaños de los agregados y del asfalto en la mezcla porque el asfalto en películas delgadas se endurece con el efecto del calor y la exposición al aire.

El tiempo de mezclado para una mezcla particular en una planta se puede establecer por el procedimiento de la norma AASHTO T 195, (ASTM D 2489). Este método determina el grado de mezclado en función del porcentaje de partículas gruesas cubiertas por completo con asfalto. Se establece una correlación con el tiempo de mezclado.

El ensayo consiste en separar las partículas de agregado grueso de la mezcla en un tamiz seleccionado. Se deben examinar entre 200 y 300 partículas bajo una luz fuerte. Las partículas se clasifican como no cubiertas si a simple vista presentan zonas sin recubrir. Generalmente se exige un mínimo de 90 y 95 por ciento de partículas cubiertas en mezclas para base y para capas superficiales, respectivamente. El menor tiempo que necesita el mezclador para alcanzar estos valores mínimos es el tiempo de mezclado más conveniente.

MEZCLADO EN PLANTA CONTINUA

Dosificación de agregados

En una instalación de tipo continua se introducen los áridos y el asfalto continuamente en el mezclador, y la mezcla terminada sale también de la instalación en forma continua. Las tolvas de material en caliente están equipadas con compuertas regulables que permiten que el material salga en cantidades controladas. El material entregado durante una revolución del mecanismo de mando, o en cualquier intervalo de tiempo elegido, es una unidad, y las proporciones de cada ingrediente se calculan como en la planta discontinua.

Las compuertas de alimentación de cada tolva caliente se calibran con ensayos en funcionamiento con distintas: aberturas de la compuerta, al igual que para la alimentación en frío. Se deben llenar las tolvas con agregado seco caliente hasta el nivel normal de funcionamiento. Debe contarse con recipientes individuales para recoger el flujo de material de cada tolva porque el mecanismo alimentador contiene material de todas las tolvas simultáneamente.

Cuando se han fijado las aberturas de las compuertas y se ha hecho la lectura del contador de revoluciones, se pone en funcionamiento la planta y se toman muestras suficiente del material de cada tolva. Se para la planta, se lee el contador de revoluciones y se determina el peso del agregado de cada tolva. Se repite este procedimiento en cada tolva para cuatro aberturas distintas de las compuertas, por lo menos. Se grafican los datos como se hizo para las aberturas de las compuertas en la alimentación en frío, kilogramos (libras) por revolución vs. abertura de la compuerta.

De la misma manera se calibra la alimentación del relleno mineral. Hay un tipo de alimentador que tiene un brazo ajustable de control. Para calibrarlo se pone el brazo en distintas posiciones en lugar de variar la abertura de compuerta en milímetros (pulgadas).

Para calibrar la compuerta del relleno mineral, las tolvas en caliente deben estar vacías. En la tolva del filler debe haber por lo menos 136 kg (300 lb) de material y el mecanismo debe estar listo para entregar material al recipiente de calibración tan pronto como se pone en funcionamiento la planta.

Se lee el contador de revoluciones para una posición conocida del brazo de palanca, se hace funcionar y se obtiene la muestra deseada. Se para la planta y se lee otra vez el contador de revoluciones para poder determinar el peso de material por revolución. Se repite este procedimiento por lo menos para tres posiciones diferentes del brazo. Se grafican los datos (peso por revolución vs. posición del brazo).

Medición del asfalto

Para calibrar la bomba de asfalto se debe seguir el procedimiento señalado por el fabricante. Cuando esta información no está disponible, se puede tomar como guía lo siguiente.

Antes de empezar a calibrar, se debe poner en funcionamiento la planta y bombear asfalto hasta alcanzar la presión normal de trabajo en la tubería. Se registra la presión y se detiene la planta. Se registra la cantidad de revoluciones y se pone la válvula "by pass" para la tubería de calibración. Esta tubería debe tener un manómetro y una válvula. Bombear a la presión registrada 200 litros o 50 galones de asfalto, aproximadamente, en un recipiente para muestras tarado. Tomar la lectura del contador de revoluciones y determinar el peso exacto del asfalto. Con este valor se consulta la tabla de calibración de la descarga dada por el fabricante para obtener las combinaciones de engranajes. Se hace un primer ensayo con el engranaje que según el fabricante permitirá suministrar la cantidad más cercana a la de asfalto necesario estimada. Se repite el ensayo para cada combinación de engranajes para asegurar que la determinación de la velocidad de descarga de la bomba es exacta. Esta calibración debe repetirse periódicamente para un control exacto del contenido de asfalto en la mezcla.

Regulación de la unidad alimentadora

Se supone una capacidad de producción de 200mg/h (220,5 toneladas/h) de mezcla asfáltica con un contenido de asfalto de 5,5 por ciento. El peso específico del asfalto a 15°C (60°F) es 0,995 y se lo calienta a 138°C (280°F) para obtener la viscosidad de mezclado.

El flujo necesario de asfalto por muestra se determina usando la Ec. 2 de la Lección 2:

Métrico

$$q = 0.167 \text{ TP}$$

$$q = 0.167 (200) (5.5)$$

$$q = 183.7 \text{ kg/min}$$

Usual

$$q = 0.333 \text{ TP}$$

$$q = 0.333 (220.5) (5.5)$$

$$q = 403.8 \text{ lb/min}$$

El agua pesa 1000 kg/m³ (8,3283 lb/gal). La corrección del volumen para 138°C (280°F) es 0,9253, por lo tanto:

$$1000 (0.995) (0.9253)$$

$$= 920 \text{ kg/m}^3 \text{ a } 138^\circ \text{ C}$$

$$8.3283 (0.995) (0.9253)$$

$$= 7.67 \text{ lb/gal a } 280^\circ \text{ F}$$

El diagrama de combinaciones de engranajes dado por el fabricante muestra un caudal de 0,183 m³/min (48,28 gal/min) para 26,84 rpm para la combinación de engranajes seleccionada.

$$\frac{0.183 (920.67)}{26.84} = 6.28 \text{ kg/rev}$$

$$\frac{48.28 (7.67)}{26.84} = 13.8 \text{ lb/rev}$$

Se controló este ajuste y se encontró que la entrega real es de 6,25 kg (13,78 lb) por revolución. Para determinar la capacidad de producción y el flujo de agregado por revolución:

$$6.25/0.055 = 113.6 \text{ kg (13.78/0.055 = 250 lb) de mezcla por rev.}$$

$$113.6 - 6.25 = 107.35 \text{ kg (250 - 13.78 = 236.22 lb) de agregado por rev.}$$

Se pueden determinar las posiciones de la compuerta y del brazo de control para obtener el flujo de agregado necesario por revolución:

Tolva	% alimentación	kg	(lb) por rev.
1	36	38.6	(85.0)
2	28	30.0	(66.1)
3	20	21.5	(47.2)
4	12	12.9	(28.3)
MF	4	4.3	(9.4)
	<u>100</u>	<u>107.3</u>	<u>(236.0)</u>

De los diagramas de calibración se pueden obtener las aberturas de compuertas para cada tolva y la posición del brazo para el relleno mineral. Las compuertas para las tolvas 1 y 2 deben colocarse para 38,6 y 30,0 kg (85,1 y 66,2 lb) por revolución si se quiere mayor exactitud.

Mezclador de paletas

Un mezclador continuo impulsa los materiales hacia su extremo de descarga. La presión de mezclado varía con la altura o peso del material contenido en el mezclador que puede regularse mediante la compuerta del extremo de descarga (Figura 5). La altura del material no debe superar la de los extremos de las paletas, excepto para el último juego de éstas.

La eficiencia de mezclado se puede incrementar elevando la compuerta del extremo de salida para mantener el material en el mezclador durante mayor tiempo o invirtiendo la inclinación de varias paletas.

Tiempo de mezclado

El tiempo de mezclado en una planta continua es el intervalo de tiempo entre la entrada del agregado en el mezclador y la descarga del mismo agregado cubierto con asfalto, de la cámara de mezclado.

Para calcular el tiempo de mezclado se divide el peso de la mezcla en el mezclador, al nivel de operación, por el peso del volumen de la mezcla producido por segundo. Para determinar el peso del contenido del mezclador, se hace funcionar la planta hasta que el flujo de mezcla a través de él sea constante. Se mide el nivel de material por debajo de la parte superior del mezclador. El volumen del mezclador para distintos niveles figura en la placa del fabricante que tiene la unidad mez-

244

cladora. En estos casos, se mide la altura promedio de la mezcla y se determina su volumen usando la tabla. El volumen multiplicado por el peso de la mezcla en kg/m^3 (lbs/pe^3) es igual al peso muerto del material contenido en el mezclador

$$\text{Tiempo de mezclado, en seg.} = \frac{\text{Capacidad muerta del mezclador, kg (lb)}}{\text{Producción kg(lb) por seg.}} \quad (1)$$

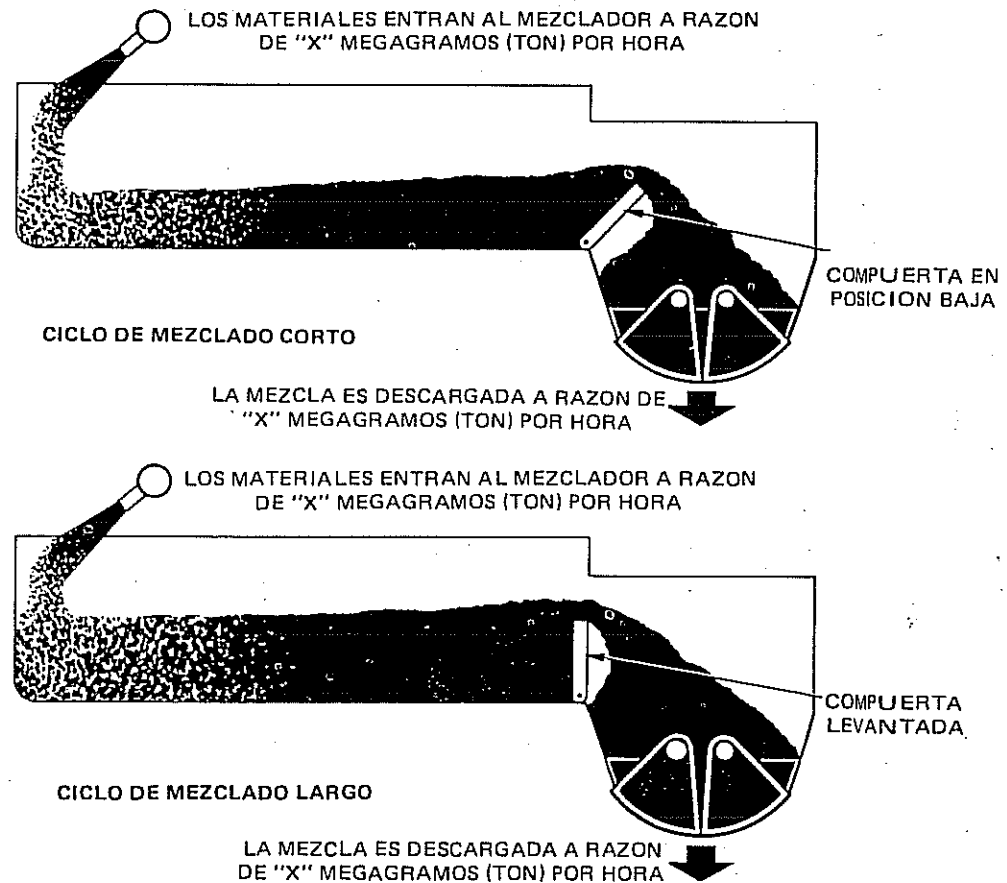


Figura 5. La altura de la compuerta controla el tiempo de mezclado

Control del contenido de asfalto

El contenido de asfalto puede controlarse comparando el peso de una cantidad conocida de mezcla terminada con la cantidad de asfalto empleada sobre un período de producción de la planta. Cuando se usa un medidor de asfalto se puede seguir el siguiente camino:

1. Detener la operación de mezclado al final de una carga
2. Anotar la indicación del medidor de asfalto, registrar el tiempo;
3. Hacer 10 cargas completas de mezcla para pavimentar (pesar cada carga);
4. Detener la mezcladora al finalizar la décima carga;
5. Anotar nuevamente la lectura del medidor de asfalto, registrar el tiempo;
6. Calcular el peso del asfalto usado; y
7. Dividir el peso del asfalto usado por el peso de la mezcla producida.

Este ensayo debe hacerse dos o tres veces al día, y el resultado debe dar dentro de la tolerancia fijada por las especificaciones del proyecto para el contenido del asfalto.

Para determinar la cantidad de asfalto usado cuando no se emplea un medidor se hacen mediciones en el tanque o cálculos basados en el registro de las revoluciones de la bomba de asfalto antes y después del mezclado de las cargas de ensayo.

OPERACIONES DEL TAMBOR MEZCLADOR

Sistema de control de las instalaciones

El funcionamiento de la planta se maneja desde los controles en la consola del operador, situada en una posición central. Una consola común incluye los controles de los motores de la instalación, los controles del sistema automático de combinación, los visores digitales, los contadores volumétricos de asfalto y los controles de la temperatura del quemador. Ahora se han desarrollado sistemas de control programables que son computadoras para fines especiales adaptables a las plantas mezcladoras de tambor. Se las puede programar en la planta para cambios en el sistema de control y requiere un mínimo entrenamiento del operador para manejar la planta.

Pesaje del agregado

El agregado pasa por un puente de pesaje a medida que la cinta transportadora alimenta al tambor. Este puente de pesaje es un tensor de la cinta o un soporte de rodillos, montado en una báscula (Figura 6). Cuando el agregado pasa sobre él se determina su peso y lo transmite a un visor en la consola de control. Se tiene en cuenta, también, la velocidad de la cinta transportadora para que el visor indique el peso de agregado por hora. Este valor es básico en el sistema de combinación de agregado-asfalto.

Medición y suministro del asfalto

Para un buen funcionamiento de una planta mezcladora de tambor, se necesita un sistema que permita una dosificación exacta y continua de asfalto acorde con el agregado. El sistema de medición y entrega de asfalto debe estar interconectado con el sistema de áridos para asegurar una relación asfalto-agregado constante.

Corrección por humedad

El peso del árido por hora que entra en el tambor es la base de la formulación de la mezcla final. Pero, como el peso del agregado incluye la humedad, se debe restar el peso de la humedad para llegar a una valoración correcta de la alimentación del agregado. Se determina periódicamente el contenido de humedad real por ensayos de extracción de humedad.

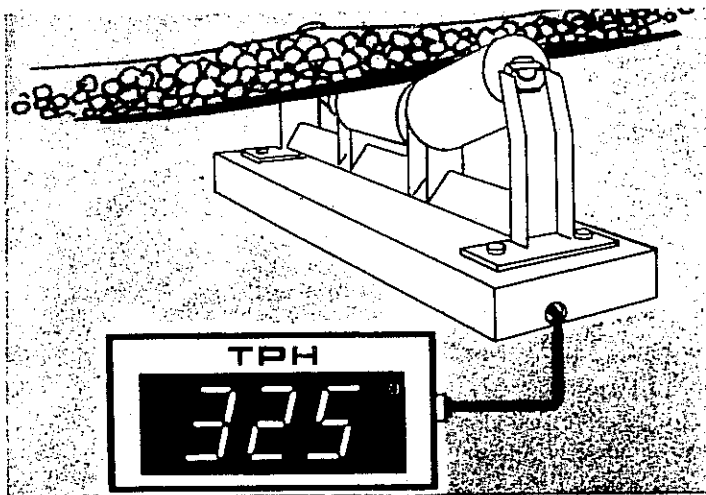


Figura 6. Puente de pesaje

TAREAS DIVERSAS

Inspección de camiones

Las cajas de los camiones no deben tener fugas o irregularidades profundas que puedan dar lugar a la adherencia de la mezcla asfáltica. El fondo no debe tener ningún material que pueda ser perjudicial para la mezcla.

Hay muchos métodos para evitar que el material se pegue a la caja de los camiones. Uno es una solución de 1 parte de cal en 3 partes de agua. Otro es agua jabonosa. Ambos son perjudiciales si se los usa en exceso por lo tanto se debe eliminar la solución en exceso antes de poner la mezcla asfáltica en el camión.

Si es necesario se deben aislar y cubrir las cajas de los camiones para mantener la temperatura de la mezcla dentro de los requisitos especificados.

Observación de la mezcla

Se debe observar frecuentemente la mezcla terminada. No hay ningún método de ensayo o dispositivo más rápido o conveniente que el ojo humano.

El control de temperatura es necesario en todas las fases de la elaboración de mezcla asfáltica en caliente. Es un factor primordial para controlar la calidad. Con una inspección visual se debe reconocer la apariencia de la mezcla para el rango de temperatura correcto. Un indicador de recalentamiento es la salida de humo azul de la mezcla en el camión. Si la mezcla no está lo suficientemente caliente, no fluye adecuadamente cuando se la pone en el camión y puede tener una distribución no uniforme de asfalto. Otro indicador de falta de temperatura es que la parte superior de la pila tenga una forma en punta anormal.

Si parece que la temperatura no es la correcta, debe medírsela con un termómetro (Figura 7).

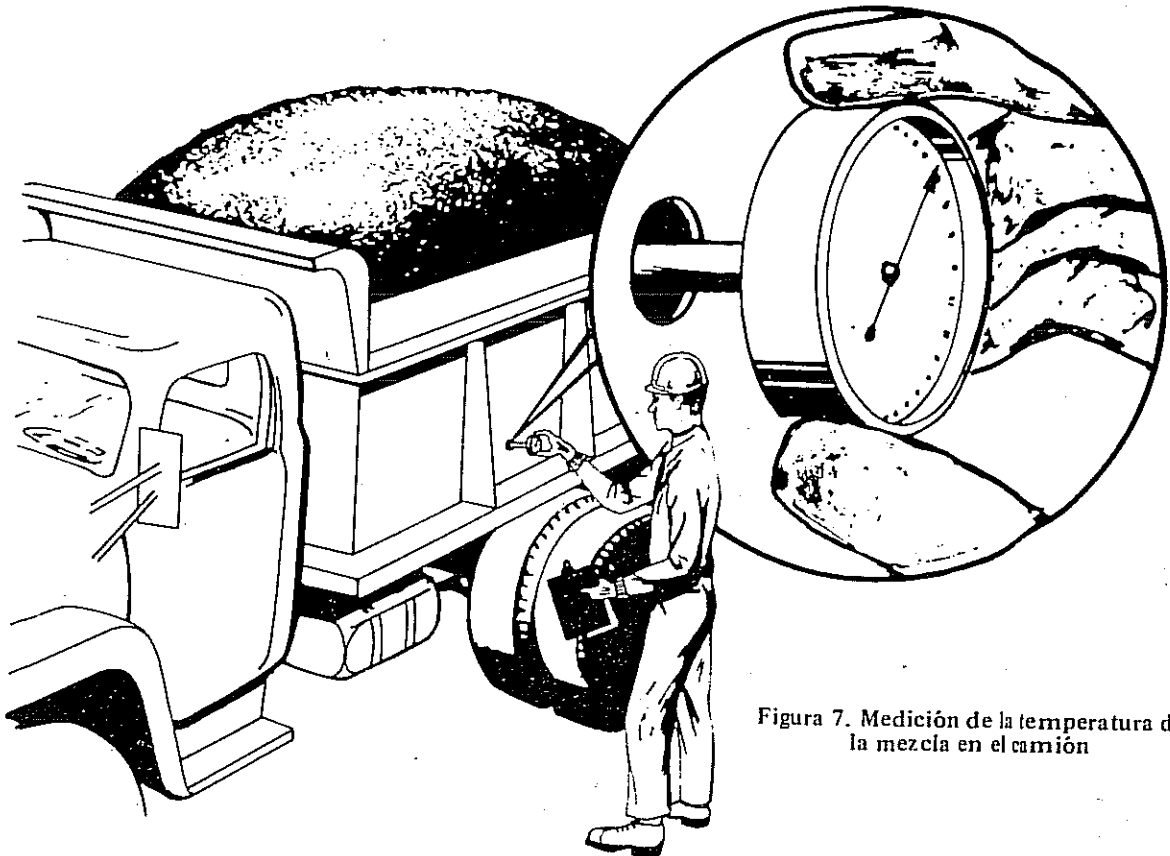


Figura 7. Medición de la temperatura de la mezcla en el camión

El personal debe familiarizarse con la apariencia y características físicas de la mezcla usada en el proyecto. Se deben observar cuidadosamente las mezclas de prueba preparadas en el laboratorio central o en el de campaña. En la Tabla 1 se pueden ver las posibles causas y medidas correctivas para ciertas irregularidades observadas.

Medición del tiempo de elaboración

Muchas fases de la producción de la planta requieren control de tiempo. El tiempo de un ciclo de mezclado puede servir para determinar el tiempo necesario para elaborar una cantidad específica. Con esto se puede calcular la producción horaria. Se pueden detectar irregularidades en el funcionamiento de la planta que requieren una investigación urgente observando el número de camiones por hora o el intervalo entre carga de camiones.

TABLA 1 POSIBLES CAUSAS DE DEFICIENCIAS EN LA MEZCLA ASFALTICA DE UNA PLANTA EN CALIENTE PARA PAVIMENTACION

Aridos muy húmedos	Separación entre agregados inadecuados	Mala reg. compuertas aliment.	Insuficiencia capacidad secador	Secador muy inclinado	Mal funcionamiento secador	Indicador temperatura fuera de ajuste	Temperatura excesiva del árido	Zarandas desgastadas	Mal funcionamiento de zarandas	Mal funcionamiento reposadores de tolvas	Pérdida en tolvas	Segregación áridos en tolvas	Arrastre por sobrecarga zaranda	Báscula áridos desajustada	Pesaje incorrecto	Alimentación de filler no uniforme	Aridos insuficiente en tolvas calientes	Secuencia de pesaje inadecuada	Asfalto insuficiente	Demasiado asfalto	Mala distribución de asfalto sobre agregados	Básculas de asfalto desajustadas	Medidor de asfalto desajustado	Pastón muy grande o muy pequeño	Tiempo de mezclado inadecuado	Paletas desgastadas o mal ajustadas	Compuerta de descarga defectuosa	Alim. asfalto y agregado no sincronizada	Caidas ocasionales de polvo en tolvas	Funcionamiento irregular de la planta	Toma de muestras defectuosas		
	A													B	B				A	A	A	B	C	B	B	B					A	Contenido de asfalto no coincide con el de fórmula de trabajo.	
	A	A						B	B	B	B	A	A	B	B	B	A							B	B	B	B	C	B	A	Granulometría agregado no coincide con la fórmula trabajo.		
	A	A						B	B	B	B	A	A	B	B	B	A							B	B			C	B	A	Exceso de finos en la mezcla		
A		A	A	A	A	A	A																						A		Dificultad para mantener uniformidad en la temperatura.		
										B				B	B									B								Peso camiones no coincide con peso de pastones	
														B	B						A	A	B	C	B	B		C				Asfalto libre sobre mezcla del camión	
	A		A	A	A	A											B				A					B		C	A			Polvo suelto s/mezcla camión	
								B	B	A	A	A	A	B	B	A	B				A	A	B	C	B	B	B	C	A			Agregados gruesos no cubiertos	
																						A	B	C	B	B	B	C	B	A			Mezcla en camión no uniforme
																														A			Mezcla s/camión con exceso betún
					A																A	A	B	C	B			C	A				Mezcla fluye en el camión.
	A		A	A	A	A																	B	C	B			C	A				Mezcla quemada
									B											A			B	C	B			C	A				Mezcla demasiado marrón o gris
														B	B	B	A				A	A	B	C	B			C	A				Mezcla c/mucho exceso betún
						A	A	A																					A				Mezcla humea en el camión
A		A	A	A	A																								A				Mezcla emite vapor en el camión
					A	A	A														A								A	A			Mezcla con aspecto mate

- A — aplicable a plantas intermitentes, continuas y de tambor mezclador
- B — aplicable a plantas intermitentes
- C — aplicable a plantas continuas y de tambor mezclador

TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS

Propósito de los ensayos

Los ensayos y el muestreo son dos de las funciones más importantes en el control de la planta. Los datos extraídos de estos ensayos son las herramientas de control de la calidad del producto. Por esta razón se debe tener mucho cuidado en seguir estrictamente los procedimientos de muestreo y ensayo. El muestreo es especialmente importante. Una de las mayores fuentes de error en los ensayos de material es el fracaso en la obtención de muestras representativas.

Para obtener un buen diseño y control de la mezcla caliente es fundamental hacer un análisis granulométrico exacto. Como el tiempo es un factor importante, cuando sea posible debe hacerse en seco. El análisis de tamices por vía húmeda del agregado total da resultados más exactos y se lo debe hacer con frecuencia para control del análisis en seco.

Cualquier cambio apreciable en la granulometría se refleja en cambios en otras características de la mezcla, tal como deficiencia o exceso de asfalto. La mezcla cambia su apariencia y toma una textura superficial distinta al compactarla.

Las probetas compactadas en los laboratorios de campaña son útiles para que los equipos de pavimentación controlen la compactación y las propiedades de la mezcla compactada.

TABLA 2 PROGRAMA SUGERIDO PARA TOMA DE MUESTRAS Y REALIZACION DE ENSAYOS

Muestra de	(1) Frecuencia mínima de muestreo	(2) Tamaño mínimo de la muestra	Ensayos a realizar	Norma de Ensayo
Agregado frío	(1) La necesaria	Ver Tabla 3	Análisis granulométrico Peso específico Equiv. de arena (si es necesario)	AASHTO T-11 AASHTO T-27 AASHTO T-84 (ASTM C128) AASHTO T-85 AASHTO T-176
Cada tolva en caliente	2 Diariamente	(3) Ver Tabla 3	Análisis granulométrico Equiv. de arena (si es necesario)	AASHTO T-11 AASHTO T-27 AASHTO T-176
Agregados Calientes Combinados	2 Diariamente	Ver Tabla 3	Análisis granulométrico	AASHTO T-11 AASHTO T-27
Filler	(1) La necesaria	Ver Tabla 3	Análisis granulométrico	AASHTO T-37
Asfalto	2 por cada carga entregada (4)	1 litro (1/4 de galón)	Enviar al Laboratorio Central	AASHTO T-40
Mezcla sin compactar	2 diariamente	9 kg (20 lb.)	Extracción completa	AASHTO T-168 (ASTM D979) AASHTO T-164 (ASTM D 2172) AASHTO T-30
Mezcla sin compactar	2 diariamente	7 kg (15 lb.)	Densidad Estabilidad	AASHTO T-209 (ASTM D 2041) Exigencias fijadas específic. proyecto

NOTAS:

(1) La frecuencia de toma de muestras dependerá de las instrucciones de la agencia contratante y de las condiciones inmediatas correspondientes al proyecto.

(2) El tamaño de la muestra puede ser función de las instrucciones de la agencia contratante. El tamaño de la muestra puede variar para condiciones especiales.

(3) En plantas discontinuas, cada muestra de las tolvas calientes debe tomarse del flujo de material que pasa por la compuerta de la tolva durante varios pastones sucesivos, y en plantas de mezclado continuo deben tomarse diferentes intervalos espaciados por varios segundos.

(4) Una muestra para ensayo de control y otra de repuesto por si hay dudas.

TABLA 3 TAMAÑO DE LAS MUESTRAS

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DE PARTICULAS, TAMIZ PASANTE		PESO MINIMO DE LAS MUESTRAS DE CAMPAÑA	
Estándar	Alternativa	kg	lb
AGREGADO FINO			
2.36 mm	No. 8	5	10
4.75 mm	No. 4	5	10
AGREGADO GRUESO			
9.5 mm	3/8 plg.	5	10
12.5 mm	1/2 plg.	10	20
19.0 mm	3/4 plg.	15	30
25.0 mm	1 plg.	25	50
37.5 mm	1 1/2 plg.	30	70
50.0 mm	2 plg.	40	90
63 mm	2 1/2 plg.	45	100
75 mm	3 plg.	60	125
90 mm	3 1/2 plg.	65	150

Los ensayos de extracción miden el contenido de asfalto y proporcionan agregados para el ensayo de granulometría. Este es el control final de todas las operaciones individuales que se hicieron para elaborar la mezcla.

Programación de la toma de muestras

Para controlar el funcionamiento de toda la planta, hay que obtener numerosas muestras en puntos fijados del proceso de producción. En proyectos que no tienen un programa o método de toma de muestras especificadas se puede usar como guía la Tabla 2. Generalmente se necesita hacer ensayos más frecuentes al comienzo del proyecto y cuando aparece una producción de la planta errática.

Diseño de la mezcla de obra

El objetivo general, sin importar el método de diseño usado, es determinar una combinación y granulometría económica de los áridos mezclados con el asfalto dentro de los límites fijados por las especificaciones. Generalmente se le entrega al contratista un diseño de la mezcla desarrollado en función de la investigación preliminar. Esta es la guía a la cual debe ajustar su fórmula de la mezcla de obra. Aunque no sean idénticas, el contratista debe desarrollar esta fórmula para acercarse lo más posible al diseño que se le entregó.

REGISTROS E INFORMES

Generalidades

El inspector de planta debe llevar registros adecuados que proveen los fundamentos sobre los que se determina el cumplimiento de las especificaciones y se realizan los pagos. Por lo tanto deben ser claros, completos y exactos. Se recomienda llevar un gráfico de control, graficando los resultados individuales de los ensayos (similar al de la Figura 8) para poder obtener con facilidad cualquier información necesaria.

Los registros también brindan una historia de la construcción y de los materiales que se usaron en el proyecto. Constituyen una base para cualquier estudio futuro y evaluaciones del proyecto.

Diario

El inspector de planta debe llevar un libro diario de cada proyecto. Debe hacerlo de tal forma que se puedan hacer copias y distribuir las. En principio debe tener información normalizada como:

1. Número del proyecto.
2. Localización de la instalación,
3. Tipo y marca de la instalación,
4. Fuente de materiales,
5. Nombres del personal clave y
6. Cualquier otro dato de interés.

Además de los datos y comentarios de rutina del tiempo, el inspector debe informar de las actividades principales de la planta y de la inspección personal, describiendo brevemente las operaciones diarias. Debe destacar acontecimientos inusuales, especialmente los que puedan afectar la mezcla para pavimentación.

Informe Diario

El inspector debe llevar un informe o parte diario resumido de las actividades de la planta. En el encabezamiento de esta planilla se debe colocar la misma información que en el libro de informe diario. Deben resumirse los resultados de todos los ensayos llevados a cabo en el día y tabularse las cantidades de material recibidas y usadas. En la Figura 8 se muestra un informe diario.

También se debe llevar un registro de campaña de los carriles recorridos y distancias en los que se colocó la mezcla asfáltica. Esta información se registra en planillas separadas.

PROYECTO 1-702-A1 (4) & (6) COUNTY Washita ESTADO FECHA 6/20/82
 MATERIAL: INFORME N°D. 16
 MEZCLADO POR Stonex Co. EN
 A LA CONSIGNACION DE Stonex Co. proyecto de camión
 TIPO DE PLANTA Kallatis-Intermittente TIEMPO DE MEZCLADO POR PASTON 66 SEGUNDOS

		MATERIALES													
ASFALTO	CLASE	FUENTE	VAGON O CAMION N°							FECHA RECIBIDO				CANTIDAD	
		AC-20	Refinería	truck #55--Karr Co.							6/20				4,000 gal.
	AC-20	"	truck #21--Karr							6/20				4,000 gal.	
AÑEGADO	CLASE	FUENTE	2 1/2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	3/16"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
GRUESO	Piedra wt.	Zeigler Co.			100	71.0	56.4	10.3	2.3	1.1	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1
	Piedra wt.	Zeigler Co.					100	84.8	66.6	31.9	19.7	15.3	9.0	6.6	3.0
INTERMEDIO	Arena	Jones pil						100	98.2	81.3	67.0	67.7	49.9	16.9	2.1
	Caliza	Kiln lime Co.										100	96.2	89.7	71.3
FINO															
FILLER															
GRADUACION COMBINADA	CURSO <u>28</u> %														
	INTERMEDIO <u>43</u> %														
	FINO <u>25</u> %	FILLER <u>4</u> %													
MEZCLA DE OBRA			100	91.9	81.9	68.4	63.1	40.8	34.4	26.7	20.3	10.1	4.7		
			100	90.0	78.0	70.0	66.6	42.6	33.6	24.6	18.0	11.0	4.0		

ANALISIS DE LOS AÑEGADOS DE LAS TOLVAS CALIENTES

TOLVA N°	2 1/2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	3/16"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
1							100	99.2	78.1	62.0	41.6	19.7	3.2
2				100	98.5	61.0	8.7	4.6	1.0	0.6	0.3	0.3	0.5
3			100	98.4	62.6	11.7	4.3	2.0	1.8	0.4	0.3	0.3	0.2
4			100	50.0	9.6	2.4	1.1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1
FILLER										100	96.2	89.7	71.3

VALOR EQUIVALENTE ARENA 76 FACTOR DE CORRECCION DEL ANALISIS DE LAVADO (- #200) 1.04

PESO DEL PASTON, LBS O LBS POR REVOLUCION

TIPO DE MEZCLA	TOLVA 1	TOLVA 2	TOLVA 3	TOLVA 4	TOLVA	ASFALTO	TOTAL
% Mezcla total	34.0	29.6	18.9	11.5	3.8	6.5	100.0
Superficie	1360	1060	766	466	160	220	4000

ANALISIS DE LA MEZCLA

MUESTRA	HORA	TEMP. °F	2 1/2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	3/16"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	ASF.
41	10:10	286			100	92.0	81.0	68.0	62.8	40.2	34.1	25.3	19.2	11.2	4.9	6.6
42	2:50	279			100	91.1	80.6	66.9	65.3	41.9	34.0	25.7	18.6	10.0	5.6	5.3
43	6:20	280			100	91.7	81.6	69.0	64.8	41.3	34.2	26.0	19.9	10.4	4.6	5.6
Promedio del día		281			100	91.6	81.0	68.0	64.3	41.1	34.1	26.0	19.2	10.6	4.4	5.6
MEZCLA DE OBRA					100	90.0	78.0	70.0	66.6	42.6	33.6	24.6	18.0	11.0	4.0	6.6

TEMPERATURA DE LA MEZCLA, °F

TIEMPO	8:15 a.m.	9:30	10:10	11:20	12:45 p.m.	1:40	2:50	3:55	4:30	5:20	6:10
*F	284	286	286	281	273	277	279	280	281	280	278

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA

LUGAR DE LA MUESTRA	HORA O CARGA N°	DENSIDAD TEORICA	DENSIDAD DE LA MUESTRA	DENSIDAD TEORICA	ESTABILIDAD	ASENTAMIENTO 0.1 PULG	VALOR COHESIMETRO
del camión	9:30 a.m.	2.649	2.447	96.0	1976	10	
del camión	3:56 p.m.	2.649	2.466	96.7	2160	11	

TIEMPO: A.M. templado rublado P.M. despejado y cedido TEMPERATURA A.M. 61 °F. P.M. 84 °F.
 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA: PRODUCCION TIPO DE MEZCLA:
 DESDE 8:30/12:40 TON. ANTERIORES 22,129 Mezclas 41-2-3 & 4
 HASTA 11:26/6:16 TON. HOY 1,098 Superficie
 TOTAL 23,227
 MUESTRA 39 REPRESENTA 226 TON. DE Superficie EN LA FECHA 19/6/82
 MUESTRA N° 44 REPRESENTA 1098 TON. DE Superficie EN LA FECHA 20/6/82
 OBSERVACIONES Muestras 39544 enviadas al Laboratorio Central.

FIRMA Dabeña
 INSPECTOR DE PLANTA, INGENIERO, ETC.

(Nota: Este informe es solo una guía. Cuando se usan mas materiales, o se producen más tipos de mezcla, se necesitan mayores espacios. No se pusieron, las equivalencias en sistema métrico porque las plantas de US están hechas sólo para unidades usuales).

Figura 8. Informe diario del inspector de planta asfáltica

Informe Mensual

Si se necesita un informe mensual, éste debe contener esencialmente la misma información sobre el funcionamiento de la instalación que se encuentra en los partes diarios. Se puede incluir en este informe una planilla de muestra para la presentación gráfica de los datos de control de la mezcla caliente. (Figura 9).

La planilla debe mostrar;

- Tamices usados;
- Fórmula de la mezcla de obra y
- Líneas que unan las desviaciones promedio día por día.

La línea horizontal central para cada sección representa la fórmula de la mezcla de trabajo, con espacios arriba y abajo para los valores distintos a la fórmula.

Informe mensual del Inspector de la planta asfáltica

Proyecto 770214 Condado Washita Estado _____ Fechas 24/6/84 hasta 24/6/84
 Contratista Sbme co Tipo planta Litu Fin y tipo mezcla Super

Análisis con líneas rectas del registro de la variación de la formula de la mezcla de obra del concreto asfáltico para la combinación de materiales de las tolvas en caliente o de extracción en planta.

Tamiz	Fecha	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
2 1/2"	Diseño % 1.0 % varia.																																
1 1/2"	Diseño % 1.0 % varia.																																
1"	Diseño 100 1.0 % varia.																																
3/4"	Diseño 90. 1.0 % varia.																																
1/2"	Diseño 78. 1.0 % varia.																																
3/8"	Diseño 70. 1.0 % varia.																																
#4	Diseño 56.5 1.0 % varia.																																
#8	Diseño 42.5 1.0 % varia.																																
#16	Diseño 33.5 1.0 % varia.																																
#30	Diseño 24.5 1.0 % varia.																																
#50	Diseño 18. 1.0 % varia.																																
#100	Diseño 11. 1.0 % varia.																																
#200	Diseño 4.0 0.2 % varia.																																
Asfalto	Diseño 5.5 0.1 % varia.																																
Temp. Mezcla	200° F. 0 F. varia.																																

Firma A. Dabeka
Inspector de Planta

Figura 9. Informe mensual del inspector de la planta asfáltica.

TEMA F

PAVIMENTACION CON MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE

Nota para el Instructor

El material básico de esta sección está limitado por la dificultad de examinar en detalle todas las máquinas asfálticas para pavimentación. Al igual que en la sección sobre plantas asfálticas se describen aquí los fundamentos, los cuales proveerán al técnico en asfalto de suficiente material básico para adaptarlo a cualquier diseño de máquina dado.

El tema de la pavimentación constituye la sección más larga del curso. A través de la práctica actual, se dan instrucciones más detalladas a esta fase de la tecnología del asfalto que a cualquier otra a nivel técnico. El material básico de esta sección sólo suministra información sobre el manejo de situaciones normales que puede encontrar una cuadrilla de pavimentación. Con tal información, sin embargo, el técnico podrá ser capaz de enfrentar situaciones inusuales aunque tenga un mínimo de experiencia. El empleo de controles electrónicos de la enrasadora es una forma de mantenimiento del gálibo y pendiente. De hecho, la variedad de dispositivos de control disponibles actualmente, permiten sólo una discusión general de este aspecto de la pavimentación asfáltica.

BIBLIOGRAFIA

1. *Asphalt Paving Manual*, MS-8. The Asphalt Institute
2. *Asphalt in Hydraulics*, MS-12. The Asphalt Institute
3. *Specifications and Construction Methods for Asphalt Curbs and Gutters*, SS-3. The Asphalt Institute.
4. *Bituminous Construction Handbook*, Barber Greene Co.
5. Wallace, H.A. and Martin, J.R. *Asphalt Pavement Engineering*, Mc-Graw-Hill, 1967.
6. *Factors Affecting Compaction*, ES-9. The Asphalt Institute
7. *Vibratory Compaction of Asphalt Paving Mixtures*, ES-2. The Asphalt Institute.
8. *Open-Graded Asphalt Friction Courses*, CL-10. The Asphalt Institute.

AUDIOVISUALES AUXILIARES

1. *Rolling Plant-Mixed Asphalt Pavements*, 16mm film (color, sonido, 12 min.). The Asphalt Institute.
2. *Placing Asphalt Hot Mix*, Slide Show VA-14 (20min.). The Asphalt Institute.

LECCION 1

EQUIPO PARA LA PAVIMENTACION ASFALTICA

Objetivo: Describir los distintos elementos del equipamiento y herramientas para la colocación y compactación de mezclas asfálticas en caliente.

INTRODUCCION	F 5
La operación de pavimentación	F 5
Planificación y preparación	F 5
Equipo para la pavimentación asfáltica	F 5
LA PAVIMENTADORA ASFALTICA	F 5
Operación de la pavimentadora	F 5
La unidad tractora	F 7
Fundamentos de la operación de extendido	F 7
La unidad de extendido	F 8
Inspección de la unidad de extendido	F 9
Controles automáticos de la enrasadora	F10
RODILLOS	F12
La operación de los rodillos	F12
Rodillos con ruedas de acero	F13
Rodillos con llantas neumáticas	F13
Rodillos vibratorios	F15
EQUIPAMIENTO AUXILIAR	F15
Distribuidor de asfalto	F15
Motoniveladora	F16
Equipo para formación de caballetes	F16
Herramientas accesorias	F16

LECCION 1

EQUIPO PARA LA PAVIMENTACION ASFALTICA

INTRODUCCION

La operación de Pavimentación

La distribución y compactación de la mezcla asfáltica son las operaciones hacia las cuales están dirigidos todos los otros procesos. Los agregados han sido seleccionados y combinados; la mezcla ha sido diseñada; la planta y su equipo auxiliar han sido preparados calibrados e inspeccionados y los materiales han sido mezclados y llevados a la pavimentadora.

La mezcla asfáltica es transportada al lugar de pavimentación en camiones y depositada directamente en la pavimentadora o en caballetes delante de la misma. La pavimentadora extiende la mezcla en un ancho y espesor determinados a medida que se mueve hacia adelante mientras va compactando parcialmente el material. Inmediatamente, o después de un corto lapso de tiempo, y mientras la mezcla está aún caliente, se hacen pasar rodillos neumáticos, de acero o vibratorios sobre la franja de pavimento fresco, compactando más profundamente la mezcla. El rodillado continúa usualmente hasta que el pavimento alcanza la densidad requerida, o que la temperatura ha disminuido hasta un punto donde una mayor compactación podría producir resultados negativos.

Después que la capa ha sido compactada y se deja enfriar, está lista para recibir capas adicionales de pavimento o para soportar cargas del tráfico.

Planificación y Preparación

Las operaciones de pavimentación requieren una cuidadosa planificación y preparación. La superficie a pavimentar debe ser preparada adecuadamente. Se dispondrá de un número suficiente de vehículos y equipos en buenas condiciones de operación para proveer un flujo continuo de materiales y permitir que la obra progrese sin demoras. La producción de la planta será cuidadosamente coordinada con la operación de pavimentación, y la compactación de la mezcla fresca recién colocada se hará de modo oportuno y apropiado.

Equipo para la pavimentación asfáltica

La mayoría de las mezclas hechas en planta son colocadas mediante pavimentadoras y compactadas mediante rodillos de acero neumáticos, o ambos. Este es el equipamiento básico. Otro equipamiento usado, conectado con la operación de pavimentación, incluye: el distribuidor de asfalto, motoniveladora, equipo para formación de caballetes, herramientas manuales y maquinarias e implementos varios.

LA PAVIMENTADORA ASFALTICA

Operación de la pavimentadora

La pavimentadora distribuye la mezcla en la forma y espesor deseados, o finaliza la capa a la elevación y sección transversal requeridas, lista para la compactación. Las pavimentadoras modernas

están soportadas por orugas o por ruedas. Estas máquinas pueden colocar una capa de menos de 25 mm de espesor (1 plg) hasta 250 mm (10 plg) de espesor en un ancho de 8 a 9,8m (6 a 32 pies). Las velocidades de trabajo generalmente van de 3,05 a 21,3 m (10 a 70 pies) por minuto.

La pavimentadora es una máquina relativamente grande con muchas partes y ajustes intrincados. La mayoría de las que se usan actualmente pueden diferir en algunos detalles pero en principio son todas similares.

La Figura 1 muestra en planta y elevación el flujo de la mezcla asfáltica desde la tolva receptora frontal de la pavimentadora, hasta el pavimento terminado por detrás de la unidad de enrase, en la parte posterior de la máquina. La mezcla es vertida en la tolva receptora, procedente de un camión que es empujado por la máquina, a la cabeza de la misma. Los rodillos montados en la parte frontal están en contacto con los neumáticos traseros del camión y permiten a la terminadora empujarlo mientras se descarga el material en la tolva.

Otro método desarrollado para cargar la pavimentadora con mezcla en caliente consiste en colocar la mezcla delante de la máquina en forma de caballete calibrado levantándola mediante un accesorio montado en la pavimentadora. Esta unidad es llamada cargador de caballetes, y levanta el material depositándolo en la tolva receptora a medida que la terminadora avanza.

Después de recibir el material en la tolva, dos cintas transportadoras controladas independientemente, conducen la mezcla a través de las compuertas de control, a los tornillos distribuidores.

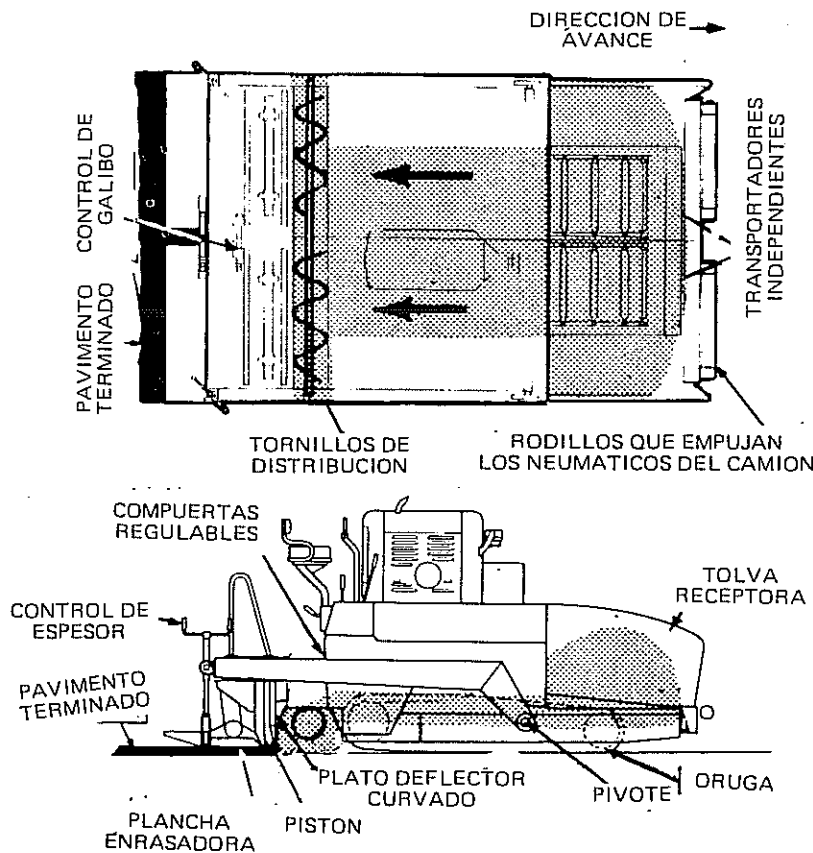


Figura 1. Flujo de material a través de la pavimentadora

Cada tornillo distribuidor y sus respectivos alimentadores están sincronizados permitiendo al operador distribuir cuidadosamente la mezcla al frente de la plancha de enrase.

La unidad de enrase está unida a la unidad tractora a través de dos largos brazos de arrastre que pivotean hacia la parte delantera de la máquina. Los brazos no proveen un soporte a la enrasadora cuando está en posición de trabajo. A medida que el tractor arrastra la enrasadora, esta buscará el nivel donde la trayectoria de su superficie inferior sea paralela a la dirección de la posición de operación, o sea, paralela a la dirección del empuje.

Para limitar el ancho de la capa o extender el ancho normal de la unidad de enrase, pueden instalarse patines de cierre tanto como extensiones de la plancha.

La unidad tractora

La pavimentadora asfáltica consiste esencialmente en una unidad tractora y una unidad de enrase. La unidad tractora provee la fuerza motriz a través de orugas o llantas neumáticas. Incluye la planta motriz, la tolva receptora, el transportador de alimentación, los tornillos de distribución, los controles y el asiento del operador. La mayoría de las terminadoras están equipadas con controles duales de manera tal que el operador se pueda sentar en cualquiera de los dos lados mientras maneja la pavimentadora.

No es práctico describir en detalle todas las unidades tractoras de uso corriente. Existen varios aspectos, sin embargo, que son generalmente comunes a todas y que deben ser inspeccionados al inicio de la operación de pavimentación y examinados en forma periódica. La mayoría de los puntos a ser controlados incluyen partes móviles o de trabajo. Para una información más detallada se deben estudiar cuidadosamente los manuales de servicio provistos por el fabricante.

El regulador del motor debe ser controlado para lograr un funcionamiento adecuado. Es importante que la unidad tractora provea un arrastre constantemente suave a los brazos de la enrasadora. Si la pavimentadora está equipada con llantas neumáticas, la presión de aire debe ser la recomendada. En las máquinas con orugas, éstas deben ser ajustadas pero no en forma excesiva. Cualquier movimiento innecesario causado por una baja presión de los neumáticos u orugas mal ajustadas cuando la máquina arranca, o se para, se reflejará en la superficie de la capa a medida que la enrasadora se mueve hacia adelante.

Las compuertas de control en la parte trasera de la tolva sobre cada uno de los transportadores pueden ser ajustadas individualmente para regular el flujo de material hacia los tornillos distribuidores. Los controles automáticos accionan estos tornillos y los alimentadores a listones para conservar una profundidad de material constante, frente a la plancha de enrase.

Fundamentos de la operación de extendido

La unidad de enrase, excluido cualquier tipo de control, se engancha a la unidad tractora mediante dos largos brazos que pivotean alrededor de un punto, delantero de la máquina. El principio básico de la extendidora es que al ser arrastrada sobre el material depositado frente a ella mediante los tornillos distribuidores, se eleva o baja automáticamente, buscando el nivel donde la trayectoria de su superficie plana inferior sea paralela a la dirección de arrastre.

En la Figura 2 se muestran las fuerzas que actúan en la unidad de enrase durante las operaciones de pavimentación. A medida, que la pavimentadora se va moviendo, el arrastre P , en el punto de pivote, siempre excede la resistencia horizontal, H , en la plancha de extendido. Cuando el espesor

de la capa debe ser incrementado, la extendidora se inclina hacia arriba para permitir que se amontone más material por debajo de ella. El resultado es que el empuje vertical ascendente, V , excede el peso, W , y hace que la plancha se levante. Cuando esto ocurre, V comienza a disminuir hasta que nuevamente iguala a W , momento en el cual termina el movimiento vertical y la plancha de extendido se mueve sólo en dirección horizontal, en una trayectoria paralela a la dirección de arrastre. El espesor de la capa puede ser variado tanto por la inclinación de la plancha como por el movimiento vertical del punto de pivote de los brazos de arrastre.

La enrasadora trata continuamente de mantener las fuerzas balanceadas. Esto explica por qué es importante regular apropiadamente las compuertas de flujo, mantener los alimentadores operando uniformemente, conservar una altura de material uniforme al frente de la enrasadora y no sobrecontrolar la misma. La temperatura de la mezcla debe permanecer constante de manera tal que su viscosidad no cambie e influya en el balance de las fuerzas que actúan en la enrasadora.

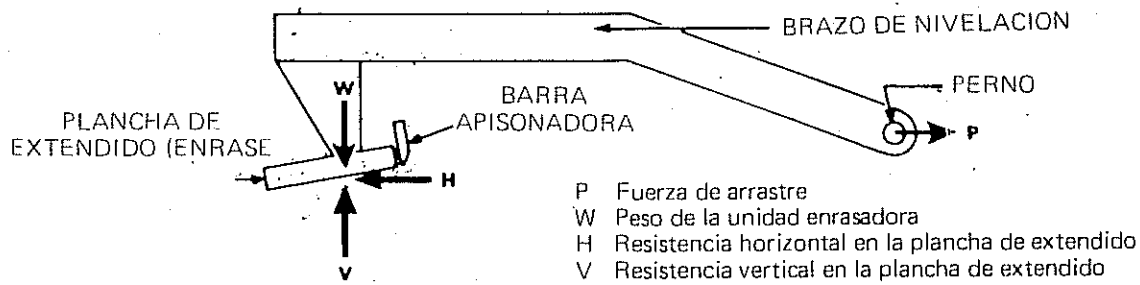


Figura 2. Fuerzas actuando en la enrasadora durante la pavimentación

La unidad de extendido

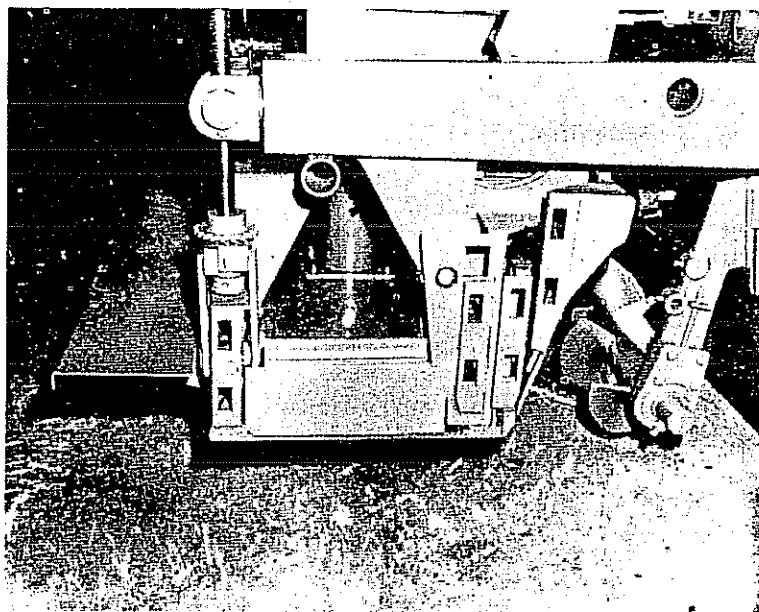
La unidad de enrase empareja, compacta parcialmente y aplanar la superficie de la capa a medida que es arrastrada hacia adelante. Existe una considerable variación en los detalles y principios de la compactación inicial. Por esta razón se deben estudiar los manuales y literatura provistos por el fabricante.

Muchas unidades de enrase tienen una barra apisonadora (Figura 3) la cual vibra verticalmente y enrasa la mezcla del pavimento de manera tal que la plancha pueda deslizarse suavemente sobre ella. La barra apisonadora imparte la mayor parte de la compactación de la mezcla en la operación de distribución. Otras enrasadoras vibran pero no tienen barras apisonadoras. La vibración se logra con vibradores eléctricos o árboles rotativos excéntricamente cargados. La frecuencia de vibración debe ser controlada, de manera tal de obtener el máximo esfuerzo de compactación.

Tanto el gálibo del borde de ataque como el de salida de la enrasadora son ajustables. El primer borde debe tener un ligero bombeo mayor que el segundo, para proveer un flujo suave de material bajo la enrasadora. Una flecha muy grande en el borde de ataque, sin embargo puede crear una textura abierta a lo largo de los bordes de la capa. Los ajustes de gálibo pueden ser hechos independientemente, o simultáneamente con la operación de pavimentación.

La enrasadora está equipada generalmente con calentadores para prevenir que la mezcla se pegue a la plancha. Se usan para calentar la plancha al comenzar la pavimentación y algunas veces durante ella, en días fríos y ventosos. No deben ser usados nunca para calentar la mezcla asfáltica que está siendo entregada a la terminadora.

Figura 3. Unidad de enrase con barra apisonadora



Inspección de la unidad de extendido

Muchas condiciones del trabajo y ajustes pueden ser controlados solo mediante el resultado final o más específicamente, por la calidad de la capa que se coloca. Antes de comenzar el trabajo, sin embargo, es necesario controlar aquellos elementos que obviamente afectarán el trabajo.

Se debe levantar la enrasadora y revisar la superficie de asiento tanto en lisura como excesivo desgaste. Las planchas de enrase se gastan alrededor de 100 a 150 mm (4 a 6 plg) hacia adentro desde el borde de salida. Las extensiones deben estar enrasadas con y al mismo nivel que la superficie de asiento de la plancha. Se debe controlar el excesivo desgaste de las apisonadores, su ajuste y apropiado funcionamiento. El desgaste excesivo produce una superficie marcada y un ajuste inadecuado da a la capa una apariencia estríada. El límite de la carrera inferior de la barra apisonadora debe sobresalir 0,4 mm (1/64 plg) por debajo de la base inferior de la plancha (el espesor de una uña). Si la enrasadora es de tipo vibratorio los vibradores se deben hacer funcionar con la enrasadora en posición levantada para observar si trabajan. Se comprueba su comportamiento durante la operación.

Debe proveerse de un nivel de aire montado en la enrasadora o en una cuña de madera de modo tal que se pueda realizar una inspección del galibo del camino en cualquier momento. También debe revisarse la unidad de calentamiento para ver si está en condiciones apropiadas de operación, encendiendo los quemadores y permitiéndoles que ardan por unos minutos.

Un ítem generalmente descuidado pero importante es la limpieza adecuada de la máquina pavimentadora al final de cada día de trabajo. Mientras la máquina está aún caliente, se le debe dar a la tolva, alimentadores, tornillos de distribución, barras apisonadoras y plancha de enrase, un riego liviano de producto de destilación de petróleo, para asegurar un fácil arranque al día siguiente.

Controles automáticos de la enrasadora

La mayoría de las pavimentadoras disponen de controles de la plancha enrasadora operados en manual, semiautomáticos o automáticos.

Los controles automáticos tienen cinco componentes principales:

1. Sensor
2. Péndulo
3. Caja de control
4. Panel de comando
5. Motores o cilindros para cambiar la inclinación de la plancha enrasadora.

En Figura 4 se muestra un diagrama de los componentes de una forma de control automático de una enrasadora.

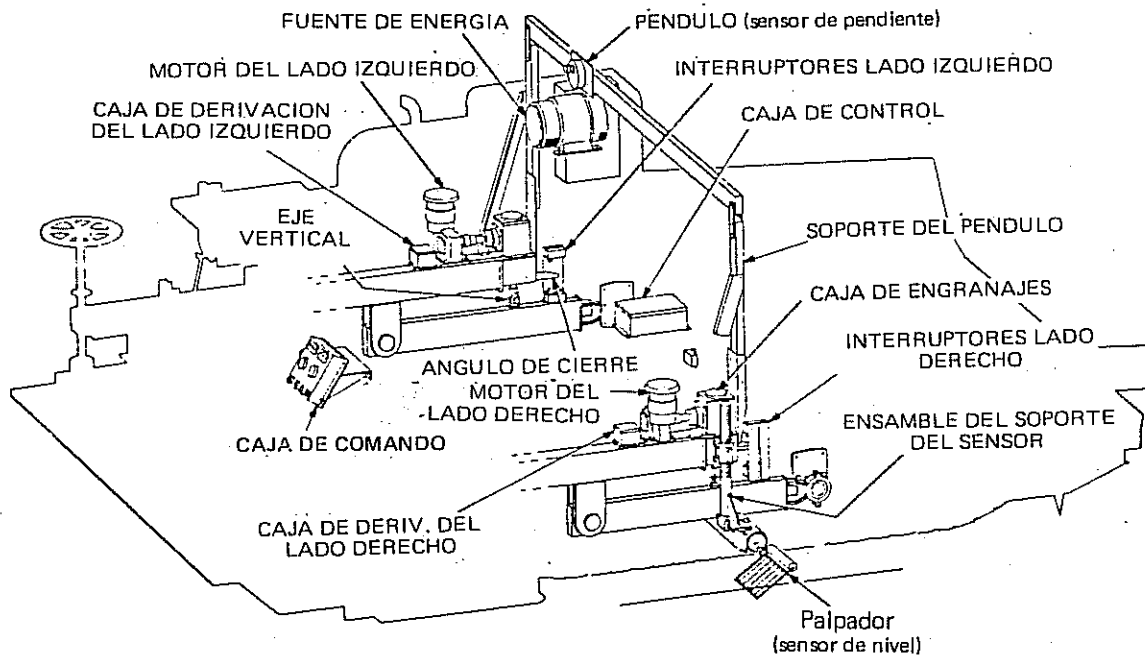


Figura 4. Componentes de un dispositivo de control automático de enrasadora.

Los controles de la plancha de enrase se basan en el principio de que si la enrasadora está fabricada para seguir una línea uniforme sin tener en cuenta las irregularidades de la superficie que está siendo pavimentada, resultará una superficie de pavimento pareja. La pendiente, o el perfil transversal, está controlado por un péndulo, regulado para una pendiente particular.

Una vez que la enrasadora es calibrada para la profundidad de distribución deseada, el sistema automático se encarga de producir una superficie pareja. El panel del comando, el sensor de nivel, y el péndulo eléctrico impulsan una caja de control la cual activa los motores o cilindros que cambian la inclinación de la enrasadora, compensando automáticamente las irregularidades superficiales del camino.

El sensor obtiene información a través de un dispositivo, o rejilla, avanzando sobre una cuerda que ha sido colocada como referencia de nivel, o a través de un patín, largo o corto que se desliza sobre una línea adyacente, cordón o canal. Ambos dispositivos pueden ser usados para repavimentar una superficie vieja, pero se recomienda una cuerda cuidadosamente instalada para la nueva construcción. Se puede sustituir el patín o pie corto por una cuerda o pie largo después de haber colocado el primer carril. La cuerda puede ser colocada de los dos lados de la terminadora, pero los patines que controlan el nivel deben ser montados del lado de la línea central. En las Figuras 5, 6 y 7 se muestran distintos tipos de controles de nivel.

Los sensores de las pavimentadoras equipadas con controles electrónicos pueden verificarse variando la posición de los mismos y observando si responde la potencia en los controles de la enrasadora y si realiza el ajuste compensatorio correspondiente.

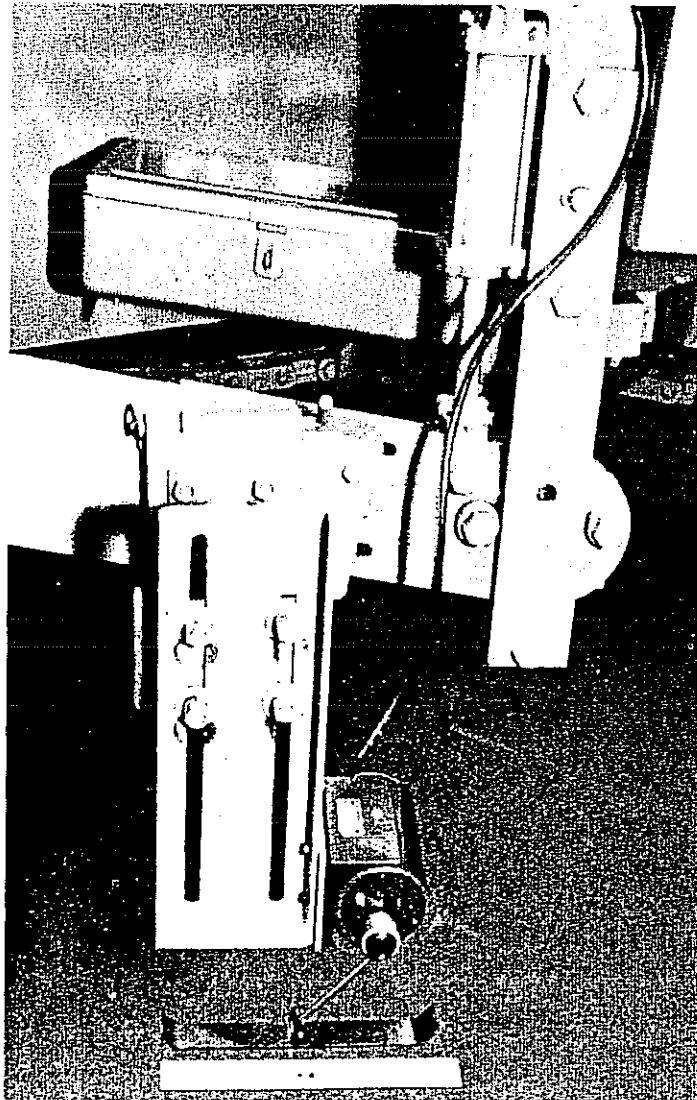


Figura 5. Palpador de nivel de pata o patín corto

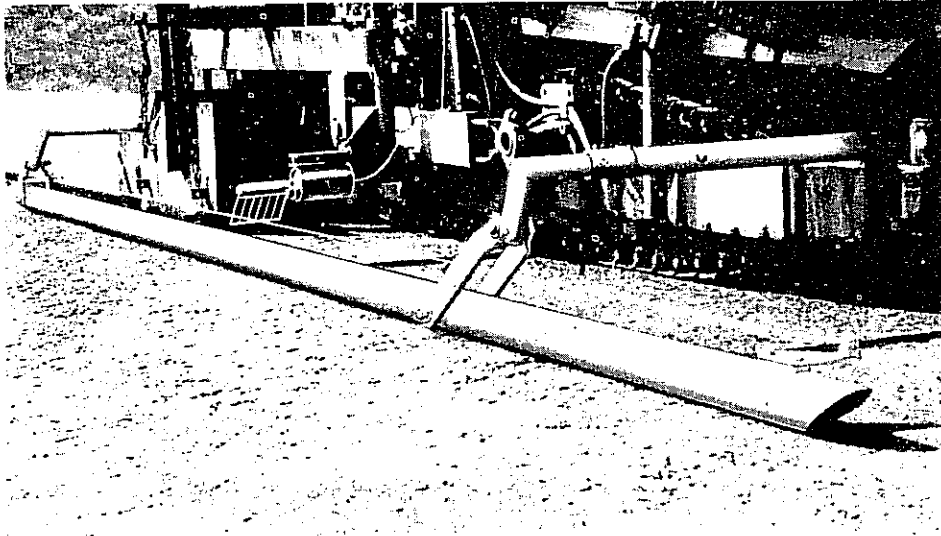


Figura 6. Palpador de nivel de patín largo

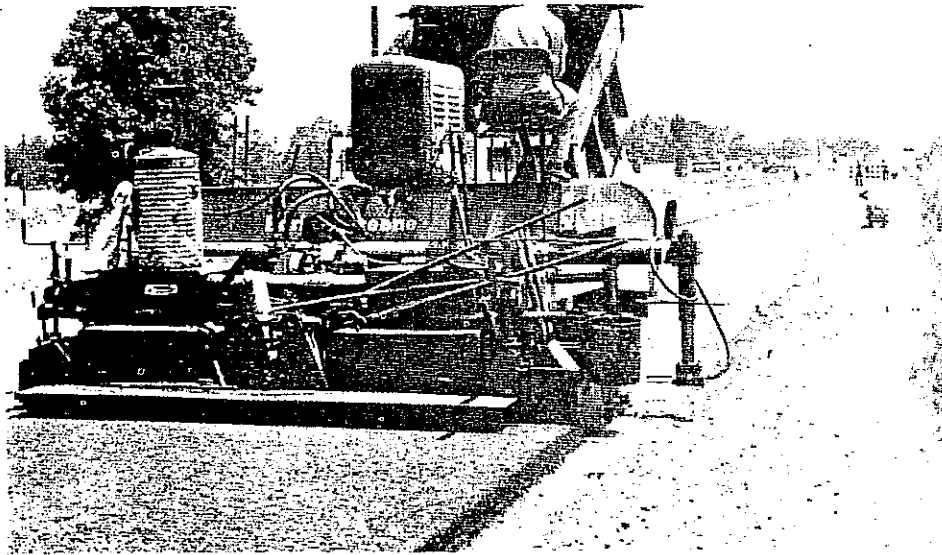


Figura 7. Palpador de nivel. La cuerda se usa también como guía para el operador de la terminadora

RODILLOS

La operación de los rodillos

El rodillado debe comenzar tan pronto como sea posible, después que el material ha sido distribuido. Esta operación consiste en tres fases consecutivas:

Rodillado inicial
Rodillado intermedio, y
Rodillado final.

El rodillado inicial compacta el material más allá de la compactación impartida mediante la terminadora, para obtener prácticamente toda la densidad requerida. El rodillado intermedio densifica y sella la superficie. El rodillado final elimina todas las marcas y desperfectos dejados por la compactación previa. Los rodillos disponibles para estas operaciones son:

- (a) Con ruedas de acero (aplanadoras)
- (b) Con llantas neumáticas.
- (c) Vibradores, y
- (d) Combinación de ruedas de acero y llantas neumáticas.

Los rodillos con ruedas de acero y vibradores pueden ser usados para las tres fases del rodillado; sin embargo la vibración no se usa generalmente en capas delgadas. Algunas veces se usan los rodillos neumáticos para el rodillado inicial, pero generalmente se los prefiere para el rodillado intermedio.

Antes de usar cualquiera de los rodillos en un proyecto, deben ser inspeccionados para verificar si están en buenas condiciones mecánicas y para asegurar el cumplimiento de las especificaciones del proyecto. La siguiente inspección de los rodillos debe realizarse, siempre que sea posible:

1. Peso total
2. Peso por unidad de ancho (rodillos metálicos)
3. Presión de contacto promedio (rodillos neumáticos)
4. Condición mecánica, y
5. Dirección correcta.

Rodillos con ruedas de acero

Los rodillos con ruedas de acero están constituídos por dos rodillos axiales en tandem (Figura 8). Varían en peso desde 2,7 a 12,7 mg (3 a 14 ton) o más. La mayoría tiene ruedas a las cuales se les puede agregar lastre para aumentar su peso.

Las ruedas de estos rodillos deben revisarse para verificar el desgaste en los bordes. Para lo cual se puede usar una regla metálica de cantos vivos. El rodillo no debe usarse si existen ranuras o picaduras que hayan afectado al tambor giratorio. Estos rodillos tienen raspadores para mantener limpias las ruedas y almohadillas húmedas, que las mantienen mojadas de manera que no levanten asfalto durante el rodillado. En caso de excesivo desgaste deben ser reemplazados.

Rodillos con llantas neumáticas

Los rodillos autopropulsados con llantas neumáticas (Figura 9) tienen de 2 a 8 ruedas en la parte frontal y 4 a 8 ruedas en la trasera. Las ruedas de estos rodillos generalmente oscilan (se mueven axialmente hacia arriba y hacia abajo) y algunas pueden balancearse. Estos últimos, sin embargo, no deben ser usados para la compactación del concreto asfáltico. Los rodillos neumáticos autopropulsados varían en peso desde 2,7 a 31,8 Mg (3 a 35 ton) pudiendo agregarse lastre a las ruedas para aumentar el peso de la máquina.

Algunos rodillos neumáticos tienen un dispositivo para variar la presión de inflado de las llantas mientras están operando. Este sistema de "inflado en camino" mantiene automáticamente cualquier presión preestablecida o puede elevar o disminuir la presión de inflado mientras el rodillo está operando. Algunas condiciones y requerimientos de compactación exigen distintas presiones de inflado.

Figura 8. Rodillo con ruedas de acero de dos ejes tandem

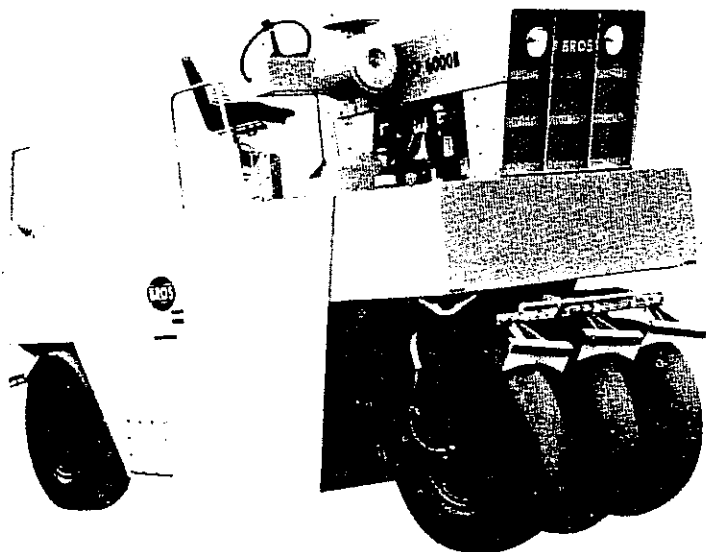
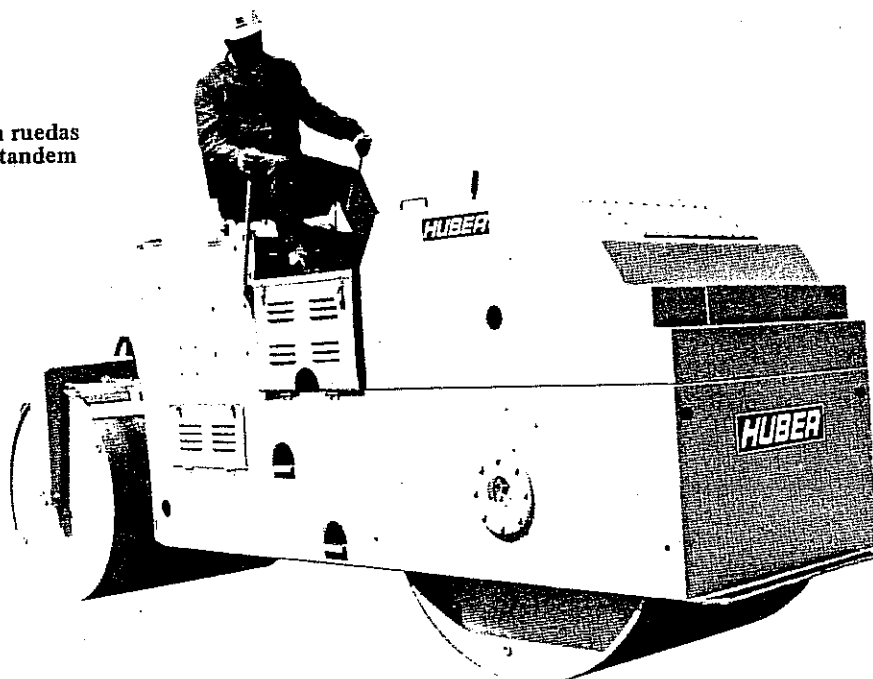


Figura 9. Rodillo neumático autopropulsado

Rodillos vibratorios

Los rodillos vibratorios están constituidos por una o dos ruedas de acero de superficie lisa de 0,8 a 1,5 m (2,5 a 5 pies) de diámetro y 0,9 a 2,7 m (3 a 9 pies) de ancho (Figura 10). Varían su peso estático desde 1,4 a 15,5 Mg (1,5 a 17 ton). Estos rodillos se usan para la compactación de cualquier tipo de mezcla asfáltica. En algunos casos, sin embargo, es necesario adaptar la resonancia de la fuerza dinámica a la fundación y tipo de material que está siendo compactado.

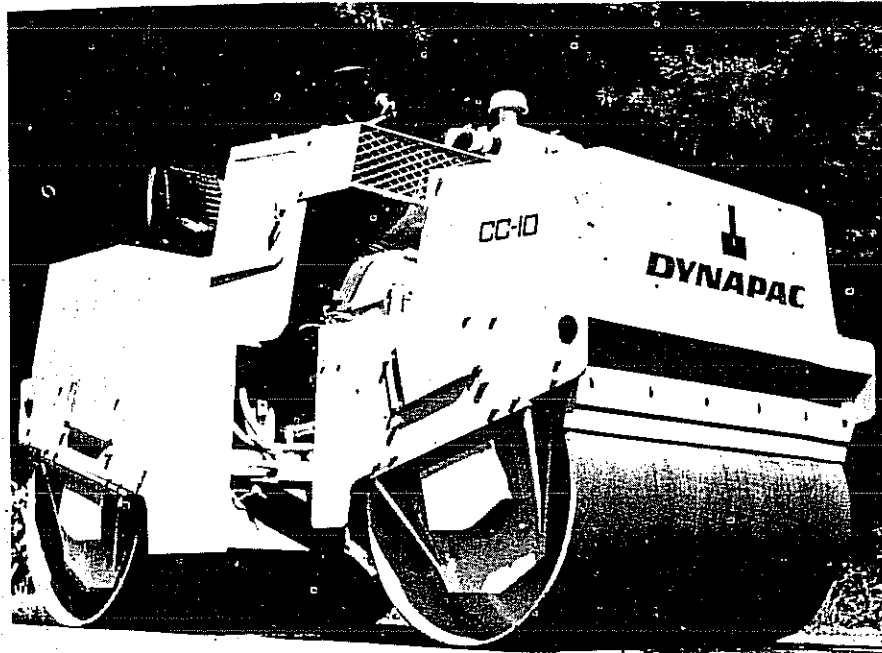


Figura 10. Rodillo vibratorio autopropulsado
(Cortesía de Dynapac Mfg. Co.)

EQUIPAMIENTO AUXILIAR

Distribuidor de asfalto

El distribuidor de asfalto se usa para aplicar tanto un riego de imprimación como un riego de liga en la superficie a pavimentar. Los riegos de imprimación son aplicaciones de asfalto diluido a una superficie absorbente tal como una base granular. Los riegos de liga son aplicaciones livianas de asfalto emulsificado sobre una superficie pavimentada existente. Estos riegos son discutidos con más detalles en la sección tratamientos superficiales.

El distribuidor está constituido por un camión o trailer sobre el que va montado un tanque con aislación térmica. Algunos distribuidores están equipados con un sistema de calentamiento, generalmente quemadores de aceite (Figura 11). El distribuidor tiene una bomba mecánica y un sistema de barras y boquillas rociadoras a través de las cuales el asfalto es forzado, bajo presión, sobre la superficie en construcción.

Es importante que el riego de asfalto sea distribuido sobre la superficie en forma uniforme, en la cantidad establecida. Esto requiere que la bomba trabaje adecuadamente, que exista una completa circulación en las barras de riego y que las boquillas estén completamente libres.

Para obtener la cantidad de aplicación deseada, la velocidad del distribuidor debe determinarse para un volumen de bombeo y un ancho de cobertura dado. Los distribuidores generalmente tienen un tacómetro que indica la velocidad de avance la cual debe mantenerse constante para obtener un riego uniforme.

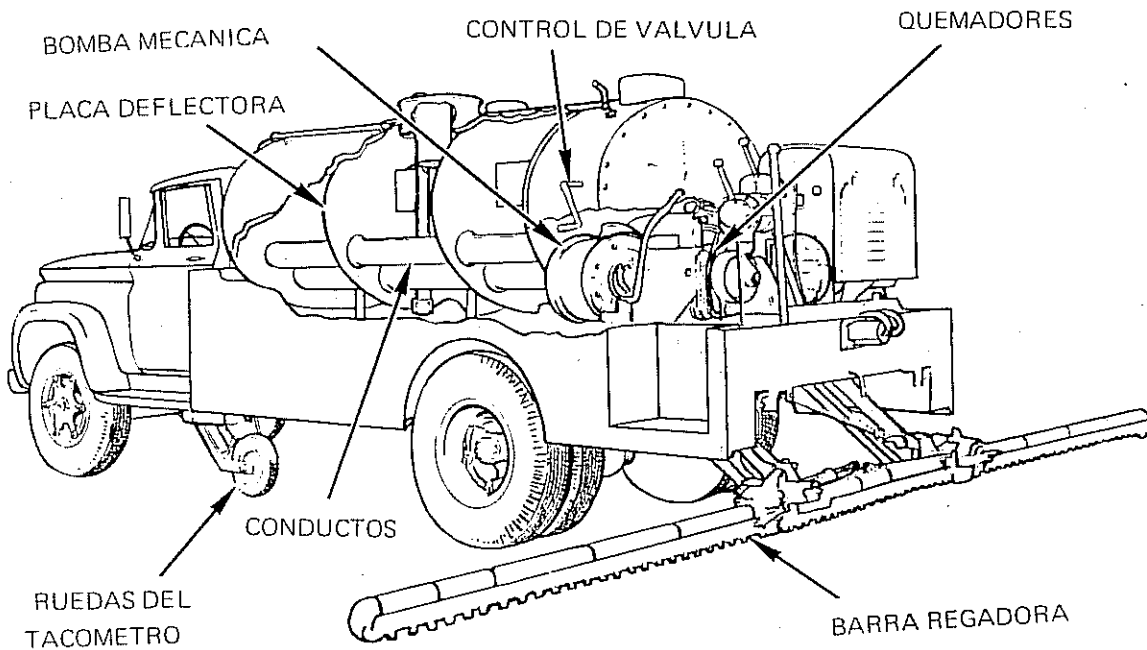


Figura 11. Distribuidor de asfalto

Motoniveladora

En algunos casos se usa la motoniveladora para distribuir mezclas provenientes de plantas asfálticas. Por ejemplo, en la colocación de una capa de nivelación la cual consiste en una aplicación delgada de mezcla hecha en planta, colocada bajo la carpeta de rodamiento. Ayuda a proveer una superficie suave y uniforme a la pavimentadora.

Equipamiento para formación de caballetes

Algunas veces se colocan las mezclas asfálticas hechas en planta sobre el camino en forma de caballetes, delante de la pavimentadora. Un dispositivo elevador fijado al frente de la misma levanta la mezcla y la descarga en la tolva. Esto elimina tener camiones de apoyo y descargarlos a medida que la pavimentadora se mueve hacia adelante.

Es importante una exacta conformación de los caballetes para obtener la cantidad correcta de material durante la construcción del pavimento.

El equipo de encaballetado puede usarse también para controlar la cantidad de material de las capas de nivelación distribuidas con motoniveladoras.

Herramientas accesorias

Debe tenerse disponibles herramientas manuales y equipamiento adecuado para su limpieza y calentamiento. Las herramientas accesorias incluyen:

1. Rastrillos
2. Palas
3. Raspadores
4. Sopletes para calentamiento
5. Equipo de limpieza

6. Apisonadoras manuales
7. Compactadores vibradores mecánicos pequeños
8. Bloques y calzas para soportar la plancha de la pavimentadora al iniciar las operaciones.
9. Sogas, papel grueso, o maderas para la construcción de las juntas al final de las jornadas.
10. Herramientas para el corte y pintado de juntas; y
11. Regla.

No es necesario usar todas estas herramientas en cada proyecto de pavimentación o todos los días de un trabajo particular. Los rastrillos, palas y raspadores se usan frecuentemente por el personal que se halla alrededor de la pavimentadora. Mientras la máquina esta operando, los obreros trabajan o retribajan una porción de la mezcla para ajustar detalles del pavimento o para llenar áreas donde la pavimentadora no operó adecuadamente o no pudo alcanzar durante la pavimentación.

LECCION 2

PREPARACION DE LA SUPERFICIE DEL CAMINO

Objetivo: Describir las medidas necesarias para la preparación de superficies nuevas y de caminos existentes, para la pavimentación con mezclas asfálticas en caliente.

INTRODUCCION	F21
La necesidad de preparar el camino	F21
Compactación de la subrasante	F21
Rodillado de prueba	F22
PREPARACION DE SUPERFICIES NO PAVIMENTADAS	F22
Generalidades	F22
Subrasante preparada	F22
Bases no tratadas	F23
Caminos granulares no afirmados	F23
PREPARACION DE SUPERFICIES DE PAVIMENTOS ANTIGUOS	F23
Pavimentos bituminosos antiguos	F23
Pavimentos rígidos	F24
Riegos de liga	F25
CAPAS DE NIVELACION	F25
Propósito de la capa de nivelación	F25
Distribución con motoniveladora	F26
Cuñas de nivelación	F27

LECCION 2

PREPARACION DE LA SUPERFICIE DEL CAMINO

INTRODUCCION

La necesidad de preparar el camino

Una fundación convenientemente preparada, lo que incluye un adecuado drenaje superficial y subterráneo, y una compactación apropiada durante la construcción, asegura una larga vida a la estructura del pavimento. El buen drenaje es extremadamente importante. La necesidad de hacer descender la napa freática por debajo de la profundidad de penetración de la helada o por debajo del nivel de la subrasante mejorada, mediante un drenaje lateral o subterráneo, es generalmente aceptado por los técnicos en pavimentación.

Resulta igualmente importante una compactación apropiada de cada capa de terraplén, subrasante, subrasante mejorada y base. La compactación aumenta enormemente el valor soporte de la subrasante. Cuando ésta no está suficientemente compactada, puede producirse una consolidación adicional bajo tráfico, con asentamientos y fallas futuras.

Compactación de la subrasante

Los ensayos de compactación son realizados en laboratorio sobre materiales a utilizar en la construcción para determinar la densidad máxima que debe ser obtenida. Estas densidades de laboratorio se deben determinar en base al ensayo: *Relación densidad-humedad de suelos, usando un pisón de 10 lb (4,54 kg) y una altura de caída de 18 plg (457 mm)*; AASHTO T 180, Método D. El criterio recomendado para la compactación de la subrasante es el siguiente:

Para suelos cohesivos: mínimo 95% de la densidad en los 300 mm (12 plg) superiores y 90% de la densidad como mínimo para todas las capas de relleno por debajo de los 300 mm superiores.

Para suelos sin cohesión: mínimo 100% de la densidad en los 300 mm (12 plg) superiores y 95% de la densidad como mínimo para todas las capas de relleno, por debajo de los 300 mm superiores.

El contenido de humedad para la compactación de suelos cohesivos debe ser elegido para proveer la más alta resistencia de remoldeo, considerando la expansión. Para mejores resultados los suelos no expansivos deben, generalmente, ser compactados 1 o 2% por debajo de la humedad óptima determinada en laboratorio.

El criterio de compactación debe aplicarse además a las secciones en desmonte. En algunos casos esto requiere la escarificación, la adición de humedad, reemplazo y recompactación para producir uniformidad en la subrasante y evitar asentamientos diferenciales.

Aunque la compactación aumenta la estabilidad de la mayoría de los suelos, algunos de ellos decrecen en estabilidad cuando son escarificados, trabajados y rodillados. Existen algunos suelos que se contraen excesivamente durante periodos secos y se expanden mucho cuando absorben humedad.

Existiendo estas condiciones, se requiere un tratamiento especial bajo la supervisión de un ingeniero de suelos. Tales condiciones incluyen:

- Arcillas que pierden resistencia al ser remoldeadas.
- Limos que se vuelven fluidos por acción del remoldeo.
- Suelos con características expansivas.

Rodillado de prueba

Las irregularidades superficiales de las estructuras de un pavimento asfáltico son generalmente el resultado de la densificación por el tránsito de las capas subyacentes, usualmente coincidentes con la trayectoria de las ruedas. Tales irregularidades indican que una o más capas no fueron adecuadamente compactadas durante la construcción o que existen áreas inestables blandas en la estructura. Para detectar estas deficiencias se suele realizar un rodillado de prueba durante la construcción.

Dicha prueba consiste en la aplicación de pesados rodillos de llantas neumáticas sobre la capa, usualmente siguiendo la compactación inicial, mediante métodos convencionales. El rodillado de prueba cumple dos propósitos: (a) localizar áreas inestables, y (b) obtener una compactación adicional.

PREPARACION DE SUPERFICIES NO PAVIMENTADAS

Generalidades

Las siguientes superficies de caminos son consideradas superficies no pavimentadas:

1. Subrasante compactada.
2. Subrasante mejorada
3. Base no tratada
4. Caminos granulares no afirmados.

Ciertas bases granulares tratadas o estabilizadas son consideradas superficies no pavimentadas mientras están siendo preparadas para la pavimentación asfáltica. Las bases granulares tratadas o estabilizadas tanto con asfalto como con cemento portland son consideradas superficies pavimentadas y se excluyen de esta clasificación.

Subrasante preparada

Una subrasante preparada es aquella que ha sido trabajada y compactada. Podría ser el suelo de fundación o una capa de suelo estabilizado, suelo seleccionado o cualquier otro material de la subrasante mejorada.

La calidad de rodamiento de la superficie del pavimento depende en gran medida de la construcción y preparación apropiada del material de la fundación. El camino debe ser conformado y rodillado de manera tal que el equipo de pavimentación no tenga dificultad en la colocación del material en un espesor uniforme sobre una pendiente suave.

Las condiciones climáticas deben ser adecuadas y la superficie del camino debe estar firme, libre de polvo y seca, o levemente húmedas cuando comienzan las operaciones de pavimentación.

Bases no tratadas

Las bases granulares no tratadas y algunas bases estabilizadas químicamente, excluyendo las bases tratadas con cemento portland y asfalto, deben ser adecuadamente conformadas y compactadas.

Cuando las capas del pavimento asfáltico deben ser colocadas sobre una base de agregados no tratados, las partículas granulares sueltas serán barridas de la superficie del camino usando barredoras mecánicas cuidando, sin embargo, de no desalojar o disturbar de alguna manera la ligazón del agregado de la superficie de la base. Cuando la superficie ha sido limpiada, está lista para ser imprimada con asfalto.

En la imprimación se usa un distribuidor a presión para regar en condiciones promedias de 0,9 a 2,3 litros/m² (0,20 a 0,50 gal/yard²) de asfalto de baja viscosidad, tales como el MC-30 o MC-70, sobre la superficie preparada de una base absorbente (En bases altamente absorbentes, se usa algunas veces el MC-250). El asfalto penetra en la superficie debiendo ser enteramente absorbido por la base. Si no se absorbe dentro de las 24 hs. después de la aplicación, se debe distribuir arena sobre la superficie para secar el exceso de asfalto. Con todo, se recomienda mucha atención para no regar imprimador en demasía. La imprimación debe ser totalmente colocada y curada antes de la colocación del recubrimiento.

Si no se dispone de asfalto diluido MC, pueden usarse asfaltos emulsificados SS-1, CSS-1, SS-1h o CSS-1h, en mezclado, tanto en el camino como en la fuente del agregado de base. Si se debe colocar una capa de este agregado de base, la emulsión y el agua de compactación pueden ser mezclados en la fuente. El volumen de aplicación es normalmente de 0,5% a 1,4 l/m²/25 mm (0,1 a 0,3 gal/yard²/plg).

Caminos granulares no afirmados

Los caminos granulares no afirmados son similares a las bases granulares. Difieren principalmente en que aquéllos son utilizados por el tráfico como calzada y, típicamente, han estado en uso durante un tiempo considerable.

No puede dejar de enfatizarse otra vez que la calidad del rodamiento de la superficie depende en alto grado del condicionamiento y preparación de la estructura subyacente al mismo. Donde el camino es áspero e irregular, resulta aconsejable nivelarlo mediante la escarificación de unas pocas pulgadas superiores de material, agregando más material cuando sea necesario, compactando e imprimando con asfalto. Si el camino ha tenido previamente un tratamiento asfáltico y está áspero e irregular, es aconsejable colocar una capa de nivelación de mezcla caliente hecha en planta antes de la primera capa del nuevo pavimento. Las capas de nivelación asfáltica serán tratadas posteriormente, en esta lección. El ingeniero debe hacer una inspección de la superficie antes de colocar las capas superiores y determinar que correcciones son necesarias.

Las partículas sueltas y excesivas y el material flojo se deben retirar del camino y la superficie debe ser imprimada con asfalto antes de la colocación de cualquier capa asfáltica, ó de nivelación.

PREPARACION DE SUPERFICIES DE PAVIMENTOS ANTIGUOS

Pavimentos bituminosos antiguos

La falla estructural ocurrida en pavimentos bituminosos antiguos es el resultado de un diseño inadecuado, de una ejecución inapropiada del proyecto, incluyendo la compactación, o ambos a la vez. Los diseños de mezclas pobres pueden causar además varios tipos de fallas, y el exceso de asfalto puede provocar corrugación o ahuellamiento. La fractura puede ser causada por una deflexión excesiva del pavimento bajo tráfico debido a una estructura inadecuada del mismo o una fundación resiliente. El asfalto insuficiente u oxidado puede hacer la mezcla quebradiza contribuyendo así al agrietamiento del pavimento.

La superficie del pavimento antiguo debe ser cuidadosamente inspeccionado, antes de colocar una nueva capa. La solución para cualquiera de las fallas existentes depende del tipo y extensión de las mismas. Si la falla es extensa, probablemente será necesario la reconstrucción. En cualquier caso todas las reparaciones necesarias sobre la superficie vieja deben ser efectuadas antes de repavimentar.

Una superficie lisa en un pavimento antiguo puede ser causada por el pulido de los agregados bajo el tránsito o por mucho asfalto en la mezcla. Si la causa es el exceso de asfalto éste debe ser calentado o removido con una alisadora de asfalto en frío o en caliente, antes del emplazamiento de la capa superpuesta.

Los pavimentos viejos que tienen pequeñas fracturas deben recibir un riego muy fino, antes de la colocación de la próxima capa. Dicho riego es una aplicación ligera de asfalto diluido, con agua y rociado sobre la superficie. Fracturas mayores justifican el tratamiento de la superficie con lechada asfáltica emulsificada. Esta es una mezcla de asfalto emulsificado, agregado fino y filler mineral, con agua suficiente para producir una consistencia pastosa. Estos tratamientos se describen y discuten en mayor detalle posteriormente.

Los baches en un pavimento viejo pero resistente deben ser llenados con concreto asfáltico y compactados antes que la superficie del camino sea pavimentada. Si la base debajo de la superficie vieja ha fallado, el daño es reflejado en esta última. El bacheo, por supuesto, debe ser efectuado antes de la pavimentación y cada bache debe ser lo suficientemente profundo como para reforzar la base.

Todos los baches inadecuados y con exudaciones, el exceso de asfalto de las fallas o el relleno de juntas, las escamas desprendidas y cualquier sobrante de material bituminoso debe ser removido de la superficie del pavimento existente.

Las depresiones de 25 mm (1 plg) o mayores deben ser cubiertas con una capa de nivelación y compactadas antes del revestimiento. Todas las superficies tanto horizontales como verticales que estarán en contacto con la nueva superficie asfáltica deben ser totalmente limpiadas. La limpieza de superficies planas se realiza normalmente con cepillos rotativos, pero puede ser necesario el lavado o la inundación para sacar la arcilla o el barro. Se aplicará un riego de liga, discutido posteriormente, al pavimento existente, y a todas las caras verticales. Una distribución uniforme de emulsión asfáltica proveerá juntas impermeables, herméticamente trabadas.

Pavimentos rígidos

Las fallas en pavimentos rígidos deben ser corregidas antes de la restauración del camino. Las capas adicionales de mezclas asfáltica deben ser lo suficientemente espesas no solamente para proveer la resistencia adicional requerida sino también para minimizar la propagación de grietas desde el pavimento viejo a la nueva superficie.

La preparación de los pavimentos rígidos dañados o fallados difiere de la realizada en pavimentos asfálticos. Puede incluir uno o más de los siguientes items:

1. Rotura de losas grandes agrietadas en otras más pequeñas y asentamiento de las mismas mediante rodillos pesados.
2. Desintegración de las losas basculares bajo tránsito y asentamiento de las mismas mediante rodillos pesados.
3. Subsellado para proveer un soporte uniforme.
4. Bacheo de áreas desintegradas y descascaradas.
5. Sellado de juntas para prevenir la intrusión de agua desde abajo.

El bombeo en las juntas es causado por el balanceo de las losas bajo tránsito. La subrasante húmeda es removida desde abajo de la losa y esto causa agrietamiento y rotura en el área de la junta. Generalmente un pavimento puede ser estabilizado mediante el subsellado con asfalto especialmente preparado para este propósito. De otra manera, las losas oscilantes se deben romper en piezas

más pequeñas y asentarlas.

En algunos casos partes del pavimento deben desintegrarse o desmenuzarse de modo tal que los fragmentos más pequeños puedan ser removidos. Estas áreas deben prepararse y bachearse con concreto asfáltico antes de la operación de repavimentación.

El material de relleno de juntas y grietas debe extraerse hasta una profundidad de por lo menos 6mm (1/4 plg.). Las juntas se vuelven a completar con un material de relleno de juntas. Debe removerse cualquier bache asfáltico con exceso de betún, como cualquier sobrante de relleno que pueda acumularse próximo a las grietas y juntas.

Como paso final, antes de emplazar cualquier pavimento asfáltico la superficie debe ser limpiada por barrido y se le debe dar un riego de liga. Cuando la preparación de estas medidas han causado asentamiento o rugosidad del pavimento, se debe colocar una capa niveladora de concreto asfáltico antes de la operación de recubrimiento.

Riegos de liga

Un riego de liga es la aplicación de asfalto a una superficie pavimentada existente para asegurar la ligazón entre la superficie vieja y la pavimentación asfáltica superpuesta.

Los dos requerimientos esenciales de un riego de liga son:

- (a) debe ser muy liviano,
- (b) debe ser uniformemente cubierta la superficie del área a pavimentar.

Para efectuar esto se diluye emulsión asfáltica del tipo SS-1, SS-1h, CSS-1 ó CSS-1h con una cantidad igual de agua. El volumen de aplicación debe ser tal que se cubra la superficie con 0,25 a 0,70 litro/m² (0,05 a 0,15 gal/yd²).

Los riegos de liga que tienen un excedente de asfalto en la superficie forman algunas veces un plano resbaladizo. El asfalto excesivo puede además buscar su camino dentro de la capa superpuesta, haciendo fluir asfaltos a la superficie. Un riego de liga liviano no perjudica y une las superficies, lo que resulta necesario para una buena construcción.

El trabajo debe ser planeado de manera tal que no se coloque más riego de liga que el necesario para un día de trabajo. Todo tránsito no esencial al trabajo debe mantenerse fuera del riego de liga.

Las caras verticales de los pavimentos existentes, tales como cordones y canaletas, deben además ser regadas o pintadas con un recubrimiento uniforme de emulsión asfáltica. Este trabajo se hará de manera tal que las superficies expuestas de cordones y canaletas no se ensucien.

CAPAS DE NIVELACION

Propósito de la capa de nivelación.

La colocación de una capa de nivelación es una operación empleada cuando la superficie del camino es tan irregular que excede la capacidad de nivelación de la terminadora. Esta es generalmente efectiva en irregularidades de longitud menor que 1,5 a 2 veces la distancia entre ejes de la máquina. Más allá de esa longitud se necesita ayuda exterior. Generalmente las irregularidades no mayores de 12 ó 15 m (40 a 50 pies) pueden ser trabajadas con un patín nivelador desplazable y controles automáticos de la enrasadora de la máquina pavimentadora.

Se debe revisar y evaluar el perfil existente en la línea central determinada por observaciones y mediciones previas. Este es el momento de tomar la decisión sobre si debe realizarse el proyecto entero, parte de él o si no debe someterse parte alguna a la colocación de una capa de nivelación. Esta decisión debe adoptarse en base a la condición del camino existente para recibir nuevas capas y de la superficie de la primer capa de concreto asfáltico sobre el nuevo nivel.

Distribución con motoniveladora

Generalmente, para distribuir la mezcla asfáltica en caliente de las capas de nivelación, se usan motoniveladoras con neumáticos lisos y gran distancia entre ejes, debido a que el tránsito actual de alta velocidad requiere un grado superior de lisura en todas las capas de la estructura del pavimento asfáltico. En la distribución de la capa de nivelación con motoniveladora, la ventaja principal ofrecida por una distancia entre ejes grande de las máquinas es la eliminación de puntos altos, depresiones e irregularidades en la subrasante o en el pavimento viejo donde la mezcla está siendo colocada. Otro beneficio obtenido es el de una superficie de textura rugosa sobre la cual emplazar la nueva capa.

Al extender una mezcla asfáltica en caliente con una motoniveladora, se necesita un rodillo para compactar de cerca la mezcla por detrás de la máquina. Es preferible usar un rodillo neumático conjuntamente con la cuchilla en este tipo de operación. Con cada pasada de la motoniveladora, el rodillo debe seguir inmediatamente compactando el material distribuido. Esta operación debe progresar hasta alcanzar la uniformidad final de superficie deseada. Si el operador de la motoniveladora maneja los controles adecuadamente, dejará más material en las depresiones y menos en los puntos altos, y el rodillo inmediatamente por detrás, compactará este material, construyendo gradualmente un plano suave y firme sobre el cual se colocarán la o las sucesivas capas.

En la colocación de la mezcla de una capa de nivelación mediante motoniveladora es esencial que en cada etapa del proyecto, no exista un exceso demasiado grande de material desechado. La motoniveladora no está diseñada para transportar una cantidad considerable de mezcla a distancia muy grande. Su función primaria es distribuir lateralmente la cantidad requerida, moviéndose longitudinalmente sólo lo suficiente para suavizar irregularidades.

Puede extenderse una cuerda sobre la superficie para localizar los puntos altos en la superficie del pavimento existente. Se marcan estos puntos y se proyectan sobre estacas al costado del camino con un nivel de carpintero y una regla, o con un hilo estirado a nivel. Después de colocar suficientes estacas al costado del camino, se dibuja una línea continua a través de los puntos marcados. Se deben colocar estacas intermedias para determinar las concavidades. Luego, mediante la visualización de la línea formada por las estacas, se detectan los cambios abruptos de perfil. Cuando la línea es suavizada satisfactoriamente, puede determinarse una constante que dará la cobertura mínima deseada sobre los puntos altos, fijando de esta manera la pendiente de la capa de nivelación.

Si el tiempo lo permite, un método más exacto para determinar la cantidad de mezcla requerida por estación es mediante cálculos sobre las cotas de nivel.

CORRECTO



INCORRECTO



Figura 1. Cuñas de nivelación en depresiones y ondulaciones

Cuñas de nivelación

Las cuñas de nivelación son rellenos de mezcla asfáltica hecha en planta para nivelar las concavidades y depresiones en un pavimento viejo, antes de la operación de recubrimiento. La colocación de cuñas de nivelación es parte de la operación de nivelación de una capa.

Las cuñas de nivelación deben ser colocadas en dos capas si su espesor va de 75 a 150 mm (3 a 6 plg). Los rellenos más gruesos que 150mm (6 plg) deben ponerse en capas compactadas no mayores de 75 mm (3 plg). En la colocación de capas múltiples, la de menor longitud debe ser puesta primero (la porción más baja de la depresión) con la(s) sucesiva(s) capa(s) extendidas por encima o cubriendo las más cortas. (Figura 1). Si se colocan en forma incorrecta se desarrollaría un escalonado en las juntas debido a la dificultad de acuñar mezcla asfáltica al comienzo y al final de una capa. Podría producirse y reflejarse una protuberancia en la superficie final.

Cuando la colocación de rellenos en depresiones y ondulaciones requieran múltiples capas, el ingeniero debe disponer de niveles suficientes para trazar cuidadosamente perfiles y secciones transversales. De estos trazados se deben determinar las pendientes de la corrección propuesta y los límites longitudinales de cada capa sucesiva, de manera de poder decidir la colocación definitiva para el arranque y parada del distribuidor o de la motoniveladora. (Figura 2).

En algunos casos, donde el tiempo no permite hacer una investigación preliminar, puede levantarse una línea plana si se realiza con cuidado y criterio. La línea se ajusta firmemente a la superficie y se endereza visualmente mediante acuñamientos para suprimir las flechas. La línea levantada puede servir como línea de referencia para la terminadora con controles automáticos de la plancha de enrase para colocar los rellenos de nivelación.

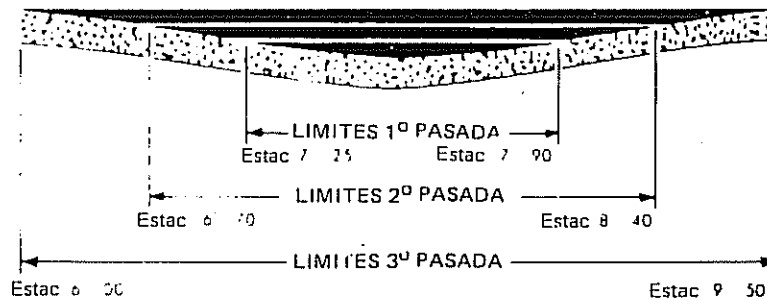


Figura 2. Límites de distribución de multicapas de nivelación.

LECCION 3

COLOCACION DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE PARA PAVIMENTACION

Objetivo: Describir la colocación de mezcla asfáltica caliente con una pavimentadora asfáltica.

INTRODUCCION	F31
Relación Ingeniero-Contratista	F31
Planeamiento de las operaciones de distribución (colocación).....	F31
Antes de comenzar la pavimentación	F32
RECEPCION DE MEZCLAS ASFALTICAS	F32
Tickets de carga	F32
Inspección de la mezcla	F32
Deficiencias de la mezcla	F33
COLOCACION CON LA PAVIMENTADORA ASFALTICA	F33
Línea de guía	F33
Hilo sustentado	F34
Ancho de distribución	F34
Distribución unitaria.....	F35
La operación de colocación	F36
Operación automática de la enrasadora	F37
Rastrillaje manual	F37
CONSTRUCCION DE JUNTAS	F37
Juntas longitudinales	F37
Juntas transversales	F39

LECCION 3

COLOCACION DE MEZCLA ASFALTICA CALIENTE PARA PAVIMENTACION

INTRODUCCION

Relación Ingeniero-Contratista

La práctica americana ha establecido que un sistema dual de control de la construcción brinda como resultado una buena relación de trabajo. El ingeniero diseña el proyecto y prepara los planos, especificaciones y estimaciones. Los contratistas se ofrecen competitivamente y supervisan la construcción, con el trabajo sujeto a la inspección y aceptación del ingeniero. El sistema dual de control por supervisión e inspección produce una máxima cooperación entre las obligaciones esenciales del ingeniero y del contratista. Cada uno debe reconocer y respetar la posición del otro. Aunque los planos y especificaciones deben definir claramente el producto final requerido por el comitente ellos no deben ser restrictivos en cuanto a los métodos y equipos que podrían emplearse para conseguir los resultados deseados más eficientemente.

Planeamiento de las operaciones de distribución (colocación)

Antes de las operaciones de distribución, el ingeniero y su inspector deben conversar con los superintendentes y capataces y planear cuidadosamente toda la operación. Algunos detalles importantes que deben ser acordados son:

1. Continuidad y secuencia de las operaciones
2. Número de terminadoras necesarias para el proyecto
3. Número y tipo de rodillos necesarios
4. Número de camiones necesarios
5. La cadena de comando para dar y recibir instrucciones
6. Razones para un posible rechazo de la mezcla
7. Requerimientos de tiempo y temperatura; y
8. Control del tránsito.

Antes de comenzar la distribución con una pavimentadora, se debe acordar un número de ítems. Uno de ellos es la temperatura de colocación de la mezcla. En general, la temperatura de la mezcla que es colocada en el camino debe ser la mínima necesaria para obtener la mejor trabajabilidad y compactación.

La cantidad de distribución, kg/m^2 (lb/yd^2) o el espesor de la capa debe acordarse de antemano. La secuencia y modelo de pavimentación debe ser establecida y entendida.

Si fuera posible, es siempre conveniente operar dos pavimentadora una en forma escalonada, o una pavimentadora de ancho total. Cuando se usan dos máquinas, deben ser mantenidas a 15 m. (50 pies) de distancia una de otra. El objetivo es tener una junta caliente entre las dos distribuciones. Otros factores que afectan la junta son las temperaturas del aire, de la mezcla y de la superficie sobre la cual se coloca la mezcla.

Antes de comenzar la pavimentación

Antes de comenzar la pavimentación, los técnicos deben asegurarse que han sido realizadas todas las inspecciones y preparativos. Se deben incluir los siguientes items:

1. Superficie de la base o del camino adecuadamente preparada.
2. Planificación para la ejecución del trabajo
3. Coordinación adecuada de la producción, distribución y rodillado de la mezcla.
4. Equipamiento en buena condición y ajuste; y
5. Elementos para el pesaje de la mezcla.

RECEPCION DE MEZCLAS ASFALTICAS

Tickets de carga

Una labor rutinaria del inspector es recoger los tickets de carga de los conductores de los camiones en el lugar de la distribución. Los tickets indican la cantidad de mezcla asfáltica son proporcionados a los choferes en la planta asfáltica. La recolección de estos tickets asegura al inspector, que el material está realmente incorporado al trabajo. Un registro cuidadoso de todos los vales minimiza la posibilidad de que cualquier carga sea apartada del trabajo. También son usados como control de los registros en planta del tonelaje total diario. El inspector debe recoger personalmente todos los comprobantes de los choferes y no permitir que esto lo haga ninguna otra persona salvo cuando él esté ausente de la operación de pavimentación.

Con la recolección de los tickets de carga y la distribución deseada en kg/metros lineales (lb/pie lineal) o Mg (ton) por estación, se puede comprobar la distribución promedio por carga. Esta verificación es de mayor importancia cuando el concreto asfáltico se coloca en un caballete antes de la distribución que cuando es vertido directamente en la pavimentadora.

Solamente conociendo la distribución deseada y observando que la mezcla sea colocada en esa cantidad, el inspector puede estar seguro que no se extenderá por encima o por debajo de las cantidades contractuales.

Inspección de la Mezcla

Una cooperación estrechamente entre el personal de la pavimentación y el de la planta asfáltica es esencial para garantizar un trabajo satisfactorio y uniforme. Deben establecerse medios rápidos de comunicación entre la pavimentación y la planta asfáltica de manera que pueda hacerse oportunamente un cambio en la mezcla. Cuando sea posible el inspector de la pavimentación y el de la planta deben intercambiar visitas frecuentemente. Cuando el inspector de la pavimentación está familiarizado con las operaciones de planta, puede determinar fácilmente si los cambios en esta son necesarios para mejorar la mezcla. El inspector de planta, por otro lado, familiarizado con la operación de pavimentación, podrá entender mejor los problemas concernientes a ella.

Se debe observar toda carga de material al llegar a la pavimentadora. La temperatura de la mezcla debe inspeccionarse regularmente y si no está dentro de la tolerancia especificada, no debe usarse.

Pueden ocurrir, y generalmente ocurren, equivocaciones en el control del pastón, mezclado y temperatura de la mezcla, y tales errores no ser notados, a veces, por el inspector de planta. Conse-

cuentemente, las cargas que llegan a la terminadora pueden no ser satisfactorias. Cuando el inspector de la pavimentación rechaza una carga, debe registrar su acción, juntamente con la razón de ella tanto en el ticket como en su parte diario, de manera tal que se pueda realizar el descuento adecuado en los pagos. Si resulta apropiado, se debe obtener una muestra para su análisis en laboratorio. Debe llevarse un registro de las cargas aceptadas y colocadas. Estos registros serán comparados diariamente, o más frecuentemente, con aquéllos del inspector de planta de manera tal que no existan discrepancias al terminarse el trabajo.

Deficiencias de la mezcla

Algunas deficiencias de las mezclas que pueden justificar su rechazo son:

1. **Muy caliente:** Humo azul elevándose desde la mezcla usualmente indica un pastón sobrecalentado. La temperatura debe ser revisada inmediatamente. Si excede los límites máximos de las especificaciones, debe descartarse. Si excede la temperatura óptima de colocación pero no sobrepasa el límite de la especificación, el pastón no es generalmente deshechado, pero inmediatamente deben tomarse las medidas para corregir el defecto.

2. **Muy fría:** Una apariencia generalmente dura, o un recubrimiento inadecuado de las partículas mayores indican una mezcla fría. Nuevamente, debe registrarse la temperatura inmediatamente. Si está por debajo del límite especificado, debe descartarse la mezcla. Si está dentro de los límites pero por debajo de la óptima para la colocación, se deben realizar pasos inmediatos para corregirla.

3. **Demasiado asfalto:** Cuando las cargas llegan a la pavimentadora con el material en forma de domo o pirámide y de pronto la carga parece achatarse, puede contener demasiado asfalto. El asfalto excesivo puede ser detectado debajo de la enrasadora debido a que la mezcla resbala.

4. **Poco asfalto:** Una mezcla que contiene poco asfalto puede en general ser detectada inmediatamente si la deficiencia de asfalto es severa. Tiene una apariencia seca granular inadecuado recubrimiento y los rodillos no la compactan en forma satisfactoria. Una insuficiencia menos severa es difícil de detectar en apariencia: cuando hay sospecha se debe investigar con ensayos.

5. **Mezcla no uniforme:** Las mezclas no uniformes muestran zonas de apariencia seca, marrón, opaca, dentro de áreas que tienen apariencia rica, brillante.

6. **Exceso de agregado grueso:** Una mezcla con exceso de agregado grueso puede detectarse por la poca estabilidad de la mezcla y por su apariencia gruesa cuando es colocada en el camino. De otra manera se asemeja a una mezcla rica.

7. **Exceso de agregado fino:** Una mezcla con exceso de agregado fino tiene una textura distinta de la mezcla adecuadamente graduada, después que ésta ha sido rodillada. De otro modo se presenta como una mezcla seca.

8. **Exceso de humedad:** Un vapor que emerge de la mezcla cuando se vierte en la tolva de la pavimentadora indica humedad en la mezcla. Puede haber un burbujeo y estallidos como si estuviera hirviendo. La mezcla puede además hacer espuma de manera tal que parecería tener mucho asfalto.

9. **Otras causas:** La segregación del agregado de la mezcla puede ocurrir por un manejo inadecuado y ser suficientemente importante como para justificar el rechazo de la mezcla. Las cargas que se han contaminado con derrames de gasolina, kerosene, aceite u otros productos parecidos, no deben ser usadas en el camino.

COLOCACION CON LA PAVIMENTADORA ASFALTICA

Línea de guía

Debe usarse siempre una línea de guía para el operador de la pavimentadora. Debe ser paralela a la línea del eje del camino y estar localizada a lo largo del borde o cerca de la junta longitudi-

nal del carril en construcción. A menos que la línea de guía esté constituida por un hilo estirado sustentado para una pavimentadora con control automático de nivel, no es necesario tensarla más allá de lo indispensable para que esté derecha.

La línea de guía debe ser acotada o estaqueada cada 150 m. (500 pies) como mínimo por delante de las operaciones para evitar demoras. En rectas, donde se usan líneas de estacas, éstas deben colocarse a intervalos no mayores de 30 m. (100 pies). En curvas, deben colocarse a intervalos de 7,5 m. (25 pies) o menores.

Hilo (cuerda) sustentado

Cuando se instala una línea como guía de referencia, debe ser cuidadosamente localizada y estirada en forma tensa. Esta guía actúa como línea de nivel que el sensor percibe para controlar la plancha de enrase. La altura del hilo puede ser elevada o descendida para acomodarse a las distintas condiciones de nivel del terreno.

La cuerda puede ser de hilo de embalar o sogas pesadas capaz de ser tensada a 355 a 455N (80 a 100 lb). Debe ser estirada y anclada cada 90 a 150 m (300 a 500 pies) a menos que las especificaciones requieran distancias más cortas (Figura 1). Cuando se está repavimentando calles o caminos existentes, la cuerda puede ser estirada entre puntos altos y anclada con clavos.

Después de tensar la cuerda, es necesario posicionarla para localizar la línea de guía. Normalmente, se puede usar grampas para cercos para sujetar la cuerda a la distancia correcta entre estacas de nivel o marcas de nivel. Las grampas pueden ser fijadas en puntos altos o a intervalos fijos.

Para colocar el hilo en una curva horizontal, se debe disminuir la distancia entre clavos y la tensión en la cuerda. La disminución de distancias se realiza para mantener el contorno de la curva.

Para colocar la cuerda en una curva vertical, se reduce suficientemente la tensión para permitir que el hilo toque los puntos altos en el camino.

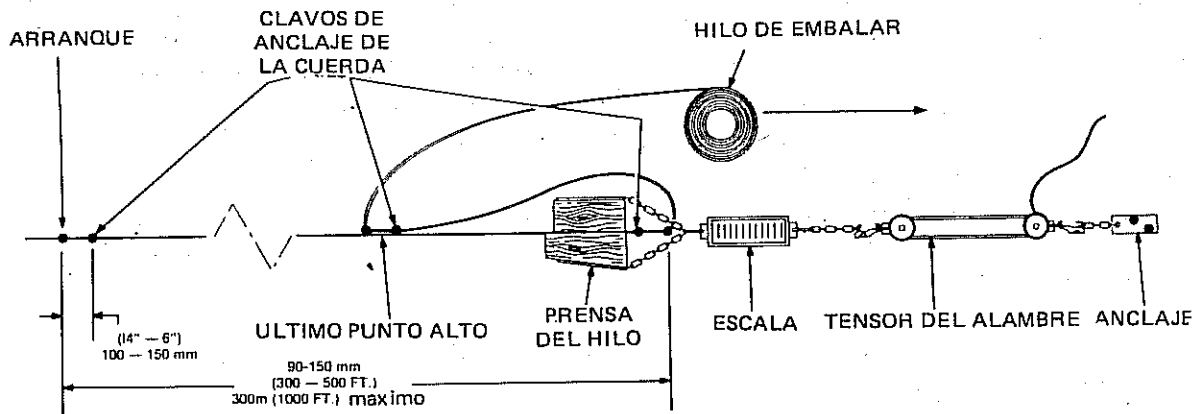


Figura 1. Un método manual de anclar y estirar el hilo

Ancho de distribución

El ancho de distribución se controla en muchas circunstancias mediante la localización de la junta longitudinal. Cuando se coloca más de una capa de pavimento, dicha junta debe ser desplazada como mínimo 150mm (6 plg) de la junta longitudinal de la capa inmediata inferior (Figura 2). El solapado de las capas sucesivas previene el agrietamiento a lo largo de la junta longitudinal.

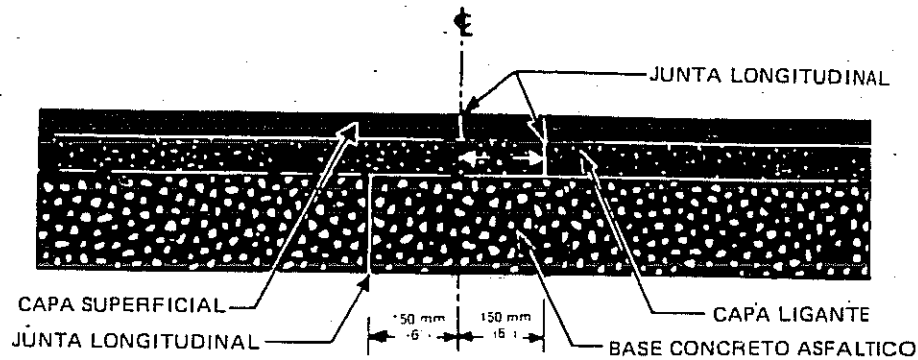


Figura 2. Solapado de capas sucesivas para prevenir la abertura de una grieta a lo largo de la junta longitudinal.

Distribución unitaria

La longitud de pavimentación por unidad de peso de mezcla asfáltica puede determinarse para un dado ancho, espesor y densidad. El inspector o técnico puede controlar la distancia real pavimentada y compararla con la determinada para una carga dada, decidiendo de esa manera si es necesario un ajuste. Un medio para determinar la longitud de distribución por unidad de peso es:

Unidades métricas

$$l = \frac{1000}{AW}$$

donde

- l = mts. lineales por Mg.
- A = área transversal (ancho x espesor) m² y
- W = densidad compactada kg/m³

Unidades usuales norteamericanas

$$l = \frac{2000}{AW}$$

donde

- l = pies lineales por ton.
- A = área transversal (ancho x espesor) pie², y
- W = densidad compactada lb/pie³

(1)

Algunos pavimentos se colocan en base al peso por unidad de superficie básica. En este caso, para un ancho de pavimento, la longitud por unidad de peso puede ser calculada:

Unidades métricas

$$l = \frac{1000}{rW}$$

donde

- r = distribución unitaria, kg/m², y
- W = ancho de distribución, m.

Unidades usuales norteamericanas

$$l = \frac{18,000}{rW}$$

donde

- r = distribución unitaria, lb/yd²
- W = ancho de distribución, pies

(2)

Se pueden desarrollar fórmulas similares para satisfacer mejor a los propósitos del inspector o del técnico. Se han publicado tablas, pero el inspector o técnico pueden preferir desarrollar sus propias tablas.

La distribución unitaria puede además referirse a la velocidad de avance de la pavimentadora. Para obtener mejores resultados, se debe estimar la producción unitaria, de la planta y la cantidad unitaria de material colocado. La velocidad de avance requerida para equilibrar la producción de planta puede obtenerse por medio de:

$$v = \frac{R_p l}{60} \quad (3)$$

donde

v = velocidad de avance de la pavimentadora en m. (pie)/ min.

R_p = producción unitaria en planta, Mg x hr (tn x hr); y

l = metros lineales por Mg (pies lineales por ton) de mezcla, de la Ecuación (1) ó (2).

Sin embargo, la máquina pavimentadora nunca debe ser operada a una velocidad por encima de aquélla que se necesita para una adecuada colocación de la mezcla. Si la pavimentadora no puede colocar apropiadamente la mezcla en cantidad equivalente a la capacidad de la planta, corresponderá disminuir la producción unitaria de ésta ó se deberán tomar otras medidas correctivas.

La operación de colocación

Cuando la pavimentadora está ubicada en el camino se debe hacer descender la plancha enrasadora sobre unos bloques que tengan el mismo espesor que la capa suelta que va a ser colocada por la máquina. Los tornillos de control del espesor en la enrasadora se ajustan para esta profundidad. Un método empírico para determinar el espesor de la capa en estado suelto es multiplicar el espesor compactado deseado por 1,25.

Cuando se comienza por el final de una capa previamente colocada se deben usar unas maderas de un espesor igual a la diferencia entre las capas suelta y compactada. La pavimentadora debe empezar distribuyendo con la profundidad requerida de material.

A medida que la máquina distribuye su primera carga de mezcla asfáltica, la capa debe ser frecuentemente controlada para medir su espesor. Después de 6 ó 9 m (20 ó 30 pies) de operación debe detenerse la máquina y revisar la nueva superficie. La textura de la misma sin rodillar debe ser uniforme. En caso contrario hay que realizar ajustes en la enrasadora. Este ajuste debe ser inspeccionado frecuentemente, así como la regulación de las barras apisonadoras o vibradores, tornillos de distribución alimentación de la tolva, y otros ajustes para asegurar una distribución uniforme de la mezcla en alineamiento y nivel adecuados.

No debe permitirse la segregación de materiales. Si esto ocurriera la operación de distribución debe ser detenida inmediatamente y no se debe recomenzar hasta que la causa sea determinada y corregida.

Cuando el camión está vertiendo la carga en la tolva, sus ruedas deben permanecer constantemente en contacto con los rodillos de empuje de la pavimentadora. Si el camión se desvía de forma tal que los rodillos empujan solamente una de las ruedas duales, la terminadora tiende a desviarse. En este caso el operador tiene que hacer las correcciones continuamente, resultando una línea quebrada, con las consecuentes juntas irregular y pobremente compactadas.

La cantidad de material transportado hasta la plancha enrasadora debe mantener una altura uniforme. Una variación puede producir una superficie rugosa. Esto requiere mantener suficiente material en la tolva para proveer a los tornillos de distribución bastante mezcla para cubrir como mínimo las 2/3 partes de la profundidad de éstos por fuera hasta sus extremos. Las compuertas de

control de la tolva deben regularse de manera tal que los tornillos y alimentadores operen el 85% del tiempo o más.

La mezcla asfáltica que se pega a los costados de la tolva debe ser desprendida continuamente y empujada al interior de la mezcla restante. Si se permite acumular la mezcla, se enfriará rápidamente, y eventualmente un terrón de mezcla semifría alcanzaría el camino pudiendo causar una textura no uniforme.

Operación automática de la enrasadora

El sensor que se desliza sobre un hilo transmite señales al control de la enrasadora para producir una capa pavimentada con un nivel predeterminado. La pendiente transversal de la enrasadora se establece normalmente en el panel de control.

Cuando se acopla un sensor o un palpador de nivel en un patín corto, en un patín largo o en otro dispositivo deslizante de referencia, se puede ajustar el espesor promedio levantando o bajando el sensor. El espesor promedio debe controlarse mediante la determinación de la longitud de distribución por unidad de peso como se explicó anteriormente.

Rastrillaje manual

El rastrillaje manual no debe hacerse a menos que sea necesario. Se puede obtener una mayor uniformidad de textura superficial manteniendo al mínimo el trabajo manual posterior a la enrasadora. Esto es especialmente cierto cuando se trabaja con mezcla de piedras trituradas. Si las operaciones delante de la máquina son ejecutadas apropiadamente, si el equipo está en buenas condiciones y regulado adecuadamente, y si la pavimentadora no coloca la mezcla a una velocidad excesiva se requerirá poco o ningún trabajo detrás de la máquina. El operador del rastrillo, sin embargo, debe estar alerta por si aparece algún borde torcido de manera tal de poder enderezarlo inmediatamente. Esto se realiza removiendo y descartando la mezcla desviada fuera de la línea de borde, o agregando mezcla de la tolva si se ha dentado el borde de la capa. El operador del rastrillo necesitará ocasionalmente trabajar a lo largo de la junta longitudinal. El trabajo adicional no será necesario si el operador de la pavimentadora sigue adecuadamente la línea guía.

CONSTRUCCION DE JUNTAS

Juntas longitudinales

El primer carril pavimentado debe estar bien ajustado en alineación y pendiente y la junta longitudinal o borde del pavimento debe tener una cara vertical neta. Es muy importante que la pavimentadora se mantenga en una línea de desplazamiento derecha y prefijada. En la colocación del primer carril se deben usar como guía una cuerda, el cordón o cualquier otra línea de referencia para que la terminadora se deslice en el curso correcto. Es también importante, para obtener buenos resultados, que los controles de los ajustes de espesor no sean accionados indiscriminadamente.

Antes de compactar el carril, el material a lo largo de los bordes libres deben ser topado y ligeramente elevado con una herramienta apisonadora o raspador. Esto establece el borde y permite que el peso total del rodillo cargue sobre el material de los bordes extremos de la capa.

Cuando no se coloca el material adyacente el mismo día, o si la junta ha sido deformada por el tránsito u otros medios durante el día de trabajo, el borde del carril debe ser cuidadosamente alineado y pintado con un recubrimiento muy liviano de asfalto antes de emplazar el carril vecino.

Después de colocar y rodillar el primer carril, es importante que el adyacente sea emplazado de manera tal de superponerse al primero en 25 a 50 mm (1 a 2 plg) (Figura 3a). El espesor del solape debe ser aproximadamente 1/4 del espesor compactado requerido. El agregado grueso segregado del material yuxtapuesto a la junta ya fría debe sacarse cuidadosamente. Si se coloca otra capa sobre la que está siendo emplazada, el agregado en exceso de la junta debe ser distribuido sobre el carril no rodillado con un cepillo o raspador. El material yuxtapuesto es luego empujado o amontonado sobre el carril caliente de manera tal que el rodillo pueda apretar el pequeño exceso dentro

Se pueden desarrollar fórmulas similares para satisfacer mejor a los propósitos del inspector o del técnico. Se han publicado tablas, pero el inspector o técnico pueden preferir desarrollar sus propias tablas.

La distribución unitaria puede además referirse a la velocidad de avance de la pavimentadora. Para obtener mejores resultados, se debe estimar la producción unitaria, de la planta y la cantidad unitaria de material colocado. La velocidad de avance requerida para equilibrar la producción de planta puede obtenerse por medio de:

$$v = \frac{R_p l}{60} \quad (3)$$

donde

v = velocidad de avance de la pavimentadora en m. (pie)/ min.

R_p = producción unitaria en planta, Mg x hr (tn x hr); y

l = metros lineales por Mg (pies lineales por ton) de mezcla, de la Ecuación (1) ó (2).

Sin embargo, la máquina pavimentadora nunca debe ser operada a una velocidad por encima de aquella que se necesita para una adecuada colocación de la mezcla. Si la pavimentadora no puede colocar apropiadamente la mezcla en cantidad equivalente a la capacidad de la planta, corresponderá disminuir la producción unitaria de ésta ó se deberán tomar otras medidas correctivas.

La operación de colocación

Cuando la pavimentadora está ubicada en el camino se debe hacer descender la plancha enrasadora sobre unos bloques que tengan el mismo espesor que la capa suelta que va a ser colocada por la máquina. Los tornillos de control del espesor en la enrasadora se ajustan para esta profundidad. Un método empírico para determinar el espesor de la capa en estado suelto es multiplicar el espesor compactado deseado por 1,25.

Cuando se comienza por el final de una capa previamente colocada se deben usar unas maderas de un espesor igual a la diferencia entre las capas suelta y compactada. La pavimentadora debe empezar distribuyendo con la profundidad requerida de material.

A medida que la máquina distribuye su primera carga de mezcla asfáltica, la capa debe ser frecuentemente controlada para medir su espesor. Después de 6 ó 9 m (20 ó 30 pies) de operación debe detenerse la máquina y revisar la nueva superficie. La textura de la misma sin rodillar debe ser uniforme. En caso contrario hay que realizar ajustes en la enrasadora. Este ajuste debe ser inspeccionado frecuentemente, así como la regulación de las barras apisonadoras o vibradores, tornillos de distribución alimentación de la tolva, y otros ajustes para asegurar una distribución uniforme de la mezcla en alineamiento y nivel adecuados.

No debe permitirse la segregación de materiales. Si esto ocurriera la operación de distribución debe ser detenida inmediatamente y no se debe recomenzar hasta que la causa sea determinada y corregida.

Cuando el camión está vertiendo la carga en la tolva, sus ruedas deben permanecer constantemente en contacto con los rodillos de empuje de la pavimentadora. Si el camión se desvía de forma tal que los rodillos empujan solamente una de las ruedas duales, la terminadora tiende a desviarse. En este caso el operador tiene que hacer las correcciones continuamente, resultando una línea quebrada, con las consecuentes juntas irregular y pobremente compactadas.

La cantidad de material transportado hasta la plancha enrasadora debe mantener una altura uniforme. Una variación puede producir una superficie rugosa. Esto requiere mantener suficiente material en la tolva para proveer a los tornillos de distribución bastante mezcla para cubrir como mínimo las 2/3 partes de la profundidad de éstos por fuera hasta sus extremos. Las compuertas de

control de la tolva deben regularse de manera tal que los tornillos y alimentadores operen el 85% del tiempo o más.

La mezcla asfáltica que se pega a los costados de la tolva debe ser desprendida continuamente y empujada al interior de la mezcla restante. Si se permite acumular la mezcla, se enfriará rápidamente, y eventualmente un terrón de mezcla semifría alcanzaría el camino pudiendo causar una textura no uniforme.

Operación automática de la enrasadora

El sensor que se desliza sobre un hilo transmite señales al control de la enrasadora para producir una capa pavimentada con un nivel predeterminado. La pendiente transversal de la enrasadora se establece normalmente en el panel de control.

Cuando se acopla un sensor o un palpador de nivel en un patín corto, en un patín largo o en otro dispositivo deslizante de referencia, se puede ajustar el espesor promedio levantando o bajando el sensor. El espesor promedio debe controlarse mediante la determinación de la longitud de distribución por unidad de peso como se explicó anteriormente.

Rastrillaje manual

El rastrillaje manual no debe hacerse a menos que sea necesario. Se puede obtener una mayor uniformidad de textura superficial manteniendo al mínimo el trabajo manual posterior a la enrasadora. Esto es especialmente cierto cuando se trabaja con mezcla de piedras trituradas. Si las operaciones delante de la máquina son ejecutadas apropiadamente, si el equipo está en buenas condiciones y regulado adecuadamente, y si la pavimentadora no coloca la mezcla a una velocidad excesiva se requerirá poco o ningún trabajo detrás de la máquina. El operador del rastrillo, sin embargo, debe estar alerta por si aparece algún borde torcido de manera tal de poder enderezarlo inmediatamente. Esto se realiza removiendo y descartando la mezcla desviada fuera de la línea de borde, o agregando mezcla de la tolva si se ha dentado el borde de la capa. El operador del rastrillo necesitará ocasionalmente trabajar a lo largo de la junta longitudinal. El trabajo adicional no será necesario si el operador de la pavimentadora sigue adecuadamente la línea guía.

CONSTRUCCION DE JUNTAS

Juntas longitudinales

El primer carril pavimentado debe estar bien ajustado en alineación y pendiente y la junta longitudinal o borde del pavimento debe tener una cara vertical neta. Es muy importante que la pavimentadora se mantenga en una línea de desplazamiento derecha y prefijada. En la colocación del primer carril se deben usar como guía una cuerda, el cordón o cualquier otra línea de referencia para que la terminadora se deslice en el curso correcto. Es también importante, para obtener buenos resultados, que los controles de los ajustes de espesor no sean accionados indiscriminadamente.

Antes de compactar el carril, el material a lo largo de los bordes libres deben ser topado y ligeramente elevado con una herramienta apisonadora o raspador. Esto establece el borde y permite que el peso total del rodillo cargue sobre el material de los bordes extremos de la capa.

Cuando no se coloca el material adyacente el mismo día, o si la junta ha sido deformada por el tránsito u otros medios durante el día de trabajo, el borde del carril debe ser cuidadosamente alineado y pintado con un recubrimiento muy liviano de asfalto antes de emplazar el carril vecino.

Después de colocar y rodillar el primer carril, es importante que el adyacente sea emplazado de manera tal de superponerse al primero en 25 a 50 mm (1 a 2 plg) (Figura 3a). El espesor del solape debe ser aproximadamente 1/4 del espesor compactado requerido. El agregado grueso segregado del material yuxtapuesto a la junta ya fría debe sacarse cuidadosamente. Si se coloca otra capa sobre la que está siendo emplazada, el agregado en exceso de la junta debe ser distribuido sobre el carril no rodillado con un cepillo o raspador. El material yuxtapuesto es luego empujado o amontonado sobre el carril caliente de manera tal que el rodillo pueda apretar el pequeño exceso dentro

del lado caliente de la junta (Figura 3b)

A veces se usa una junta a tope (Figura 3c). Esta se construye retirando el material fresco que ha solapado el carril rodillado. La mejor forma de realizarlo es recortando la junta inmediatamente por detrás de la pavimentadora con una pala cuadrada. De esta manera el operador puede distinguir dónde está el borde de la junta fría y estimar su línea de corte en forma adecuada.

Si los carriles se colocan simultáneamente con dos pavimentadoras, moviéndose en forma escalonada, los espesores sueltos de las capas deben coincidir exactamente, sin que haya superposición en la junta caliente. Las juntas de una capa pavimentada recientemente colocada, se compactan generalmente antes que el resto del ancho pavimentado.

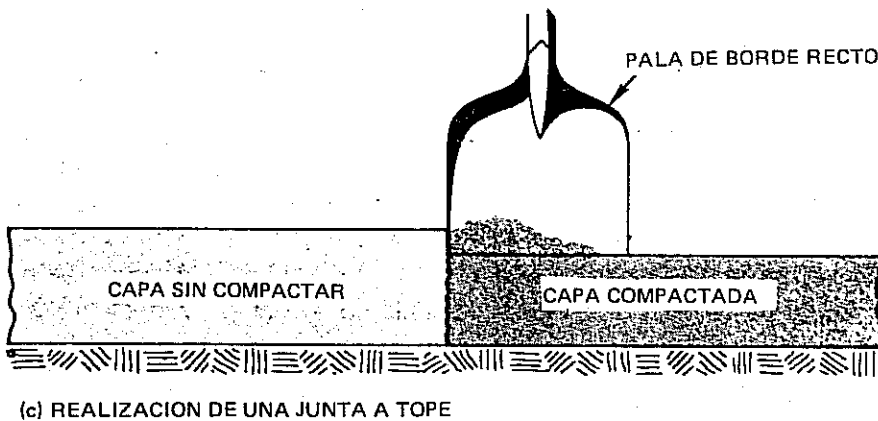
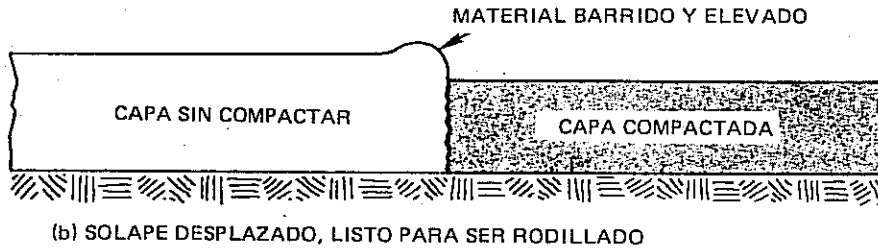
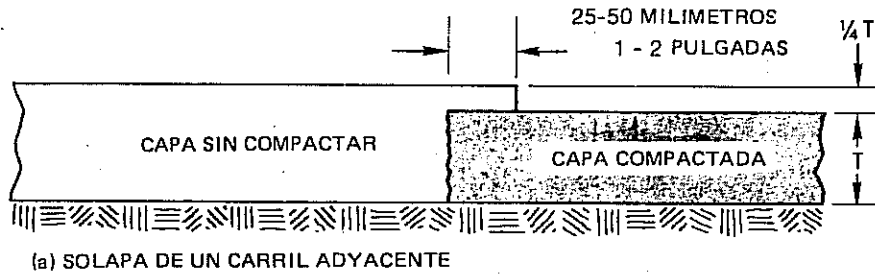


Figura 3. Construcción y preparación de juntas longitudinales

Juntas transversales

Las juntas transversales en capas intermedias superficiales deben ser cuidadosamente construidas y totalmente compactadas para proveer una superficie de rodamiento suave. Las juntas deben ser comprobadas con regla o cuerda para asegurar la lisura y el alineamiento correcto.

El procedimiento en la conformación de una buena junta transversal comienza al terminar la operación de pavimentación diaria. La cara vertical de la junta transversal se puede obtener mediante dos procedimientos: uno, utilizando un madero para formar un plano vertical y el otro mediante aserrado de la capa compactada (Figura 4a, 4b).

Después que la última carga de mezcla asfáltica ha sido colocada en la tolva y el material alrededor de los tornillos de distribución disminuye por debajo de lo normal, se retira la pavimentadora y se inserta un madero del mismo espesor que la capa compactada dentro de un espacio manualmente conformado con una pala (Figura 4). Se rodilla la capa. Se saca el madero y el material que está más allá del mismo antes de reponer la terminadora el día siguiente.

En el método que usa la cara vertical aserrada, la pavimentadora opera hasta que el material de alrededor de los tornillos de distribución comienza a caer por debajo del nivel normal de operación. Se observa la posición de la enrasadora y se saca la pavimentadora. Después que el material ha sido conformado en forma de rampa y compactado, la capa debe ser aserrada antes que las operaciones de pavimentación comiencen nuevamente. La localización de la cara aserrada debe estar al menos 25 mm (1 plg) al costado del punto de tangencia de manera tal que haya una superficie plana al comienzo. El material por delante de la cara aserrada es, por supuesto, removido.

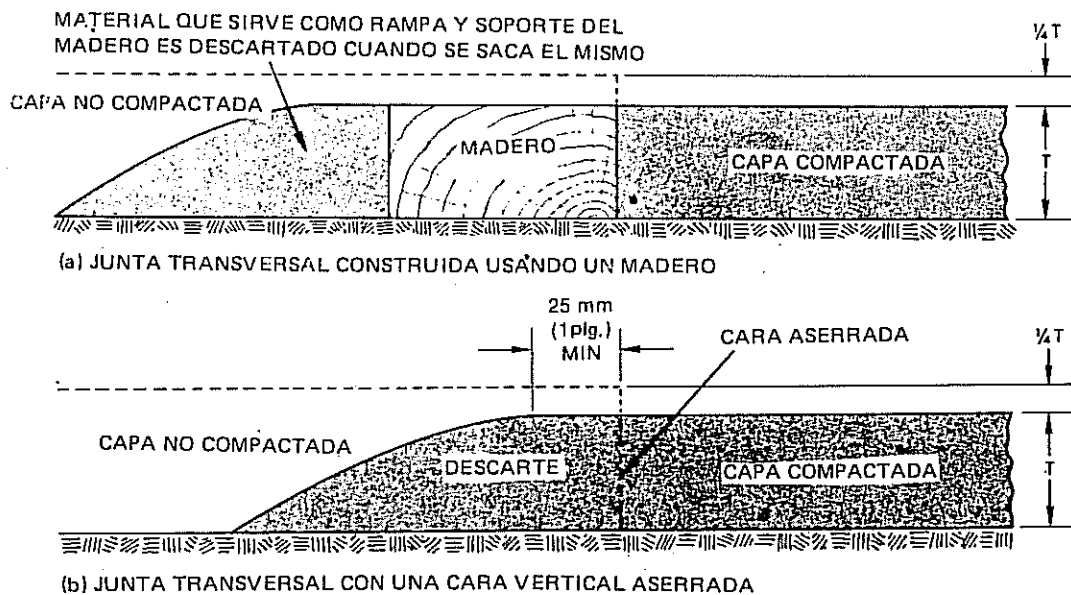


Figura 4. Construcción y preparación de juntas transversales

En todos los casos, la junta transversal debe ser regada o pintada con un delgado recubrimiento de asfalto antes de colocar el material fresco contra él. La enrasadora debe estar bien calentada al comenzar la operación de distribución. Si el material fresco está a nivel o casi a nivel del pavimento anteriormente colocado, terminará estando muy bajo después de compactar con el rodillo. En éste caso, el material fresco debe ser desprendido con rastrillo hasta una profundidad de aproximadamente 13 mm (1/2 plg) y se debe agregar y emparejar la cantidad deseada de material. Luego la junta debe compactarse en la forma convencional. Si el material fresco está muy alto después de la pasada del rodillo, debe ser desprendido con rastrillo, remover el exceso y descartarlo antes de continuar la compactación.

LECCION 4

COMPACTACION DE PAVIMENTOS CON MEZCLA ASFALTICA CALIENTE

Objetivo: Describir los métodos adecuados para la compactación de mezclas asfálticas en caliente.

INTRODUCCION	F43
La necesidad de la compactación	F43
Principios fundamentales	F43
Secuencia del rodillado	F44
Rodillado de capas gruesas	F44
PROCEDIMIENTO DE RODILLADO	F45
General	F45
Juntas transversales	F45
Juntas longitudinales	F46
Rodillado inicial	F47
Rodillado intermedio	F49
Rodillado final	F50
INSPECCION DEL PAVIMENTO TERMINADO	F50
Textura superficial	F50
Tolerancia superficial	F50
Densidad del pavimento	F51
OBLIGACIONES ADICIONALES	F52
Muestreo	F52
Registros e informes	F52
Control del tránsito	F54
Limpieza	F54

LECCION 4

COMPACTACION DE PAVIMENTOS CON MEZCLA ASFALTICA CALIENTE

INTRODUCCION

La necesidad de la compactación

Si no se obtiene la densidad especificada de la mezcla asfáltica durante la construcción, el tránsito subsiguiente consolidará el pavimento. Esta consolidación ocurre principalmente en las trayectorias de las ruedas y aparece como canales en la superficie del pavimento.

La mayoría de las mezclas se compactan fácilmente si se distribuye y rodilla a temperatura que garanticen una apropiada viscosidad del asfalto. El rodillado debe comenzar tan rápido como sea posible después que el material ha sido distribuido por la terminadora, pero debe ser hecho con sumo cuidado para prevenir una rugosidad indebida de la superficie.

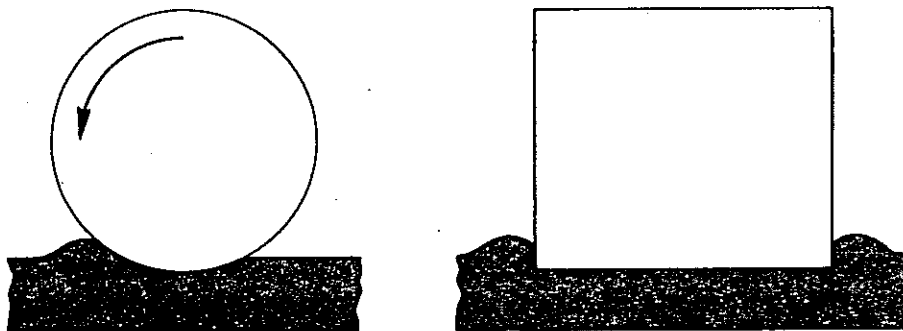
Principios fundamentales

Una mezcla que es relativamente estable a la temperatura alta, como sale de la terminadora, es compactada por el movimiento vertical de las partículas del agregado bajo el rodillo. En cualquier mezcla para pavimentación, la rueda del rodillo debe asentar en la mezcla hasta que el área de contacto entre rueda y mezcla multiplicado por la resistencia de la mezcla sea igual al peso del rodillo. Si la mezcla caliente es bastante firme, el rodillo no causará ningún desplazamiento horizontal de la misma.

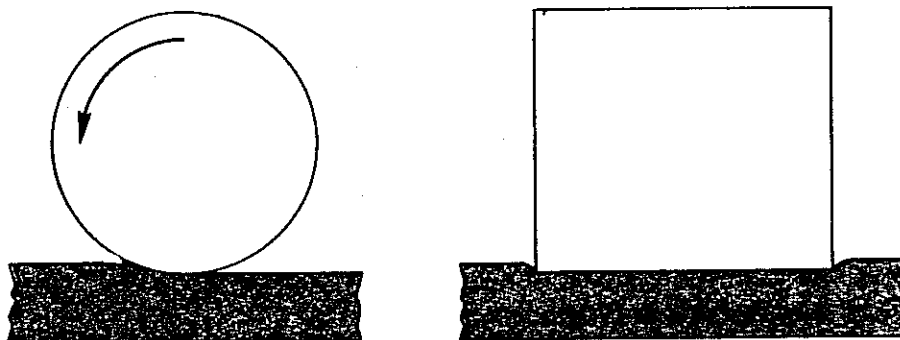
Los desplazamientos horizontales provienen de un arrastre aparente de la mezcla delante del rodillo y de la formación de pequeñas ondas a cada lado de la trayectoria del mismo (Figura 1a). Si los desplazamientos horizontales no existieran, virtualmente no habría movimientos u ondas a lo largo del borde de la trayectoria (Figura 1b).

Los desplazamientos horizontales producen una superficie rugosa e irregular, frustrando las intenciones de control cuidadoso de nivel y de buena operación de la enrasadora de la terminadora.

La temperatura de la mezcla es el factor principal que afecta la compactación. Esta solamente es efectiva mientras el asfalto esté suficientemente fluido para actuar como lubricante. Cuando se enfría bastante para actuar como ligante, se hace extremadamente difícil una compactación mayor. El mejor momento para el rodillado de una mezcla asfáltica es cuando su resistencia a la compactación es mínima, mientras que es capaz al mismo tiempo de soportar el rodillo sin excesivo desplazamiento. La mejor temperatura de rodillado está influenciada por la fricción entre partículas de los agregados, la granulometría de la mezcla, y la viscosidad del asfalto. Por esta razón dicha temperatura puede cambiar si varían alguno de estos factores. La temperatura crítica de la mezcla en una pavimentación con concreto asfáltico es la temperatura en el momento de la compactación. Esto determina la temperatura a la cual la planta debe producir la mezcla.



(a) CRESTAS Y ONDAS CAUSADAS POR EL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE LA MEZCLA DURANTE EL RODILLADO



(b) MATERIAL COMPACTADO POR UN RODILLO SIN DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE LA MEZCLA.

Figura 1. Marcas dejadas por el rodillo en un pavimento fresco de mezcla asfáltica en caliente

Secuencia del rodillado

Se necesitan por lo menos dos rodillos para la mayor parte de los trabajos, no para trabajos pequeños como por ejemplo, en la construcción de accesos particulares. Se usan rodillos adicionales, tantos como se necesiten, para proveer la densidad del pavimento especificada y para mantener la misma marcha que la terminadora.

El rodillado de las juntas longitudinales se hace inmediatamente detrás de la pavimentadora. El rodillado inicial, se realiza tan pronto como sea posible compactar la mezcla sin agrietamiento de la capa o sin que la mezcla sea levantada por las ruedas del rodillo. El segundo rodillado o rodillado intermedio sigue al primero, tan cerca como sea posible mientras la mezcla tiene la temperatura que dará la máxima densidad. El rodillado final se realiza mientras el material está aun lo suficientemente trabajable, para remover las marcas dejadas por el rodillo.

Rodillado de capas gruesas

En general, es más fácil lograr la densidad requerida en capas gruesas de concreto asfáltico. Estas capas se mantienen calientes por más tiempo y por lo tanto ofrecen mayor duración para compactarlas. El enfriamiento rápido de las capas finas, por otro lado, hace esencial que el rodillo pase

y complete la compactación lo más rápidamente posible.

Como consecuencia, las temperaturas de la mezcla generalmente deben ser más altas para capas delgadas, de espesor compactado de 50 mm (2 plg) o menores, a fin de brindar suficiente tiempo para completar el rodillado. Con capas más gruesas, 75 mm (3 plg) de espesor compactado o mayor generalmente es conveniente disminuir la temperatura de la mezcla de alguna manera.

En dichas capas, la menor temperatura del asfalto le permite desarrollar más pronto una viscosidad suficiente para mantener las partículas en posición.

PROCEDIMIENTO DE RODILLADO

General

Durante el rodillado las ruedas se mantienen húmedas con agua suficiente para evitar levantar el material. Los rodillos se mueven a una velocidad baja pero uniforme, con las ruedas tractoras lo más cerca posible de la terminadora. La velocidad no debe exceder los 4,8 km/h (3 mph) para los rodillos de acero u 8 KM/h (5 mph) para los neumáticos. Los rodillos deben ser mantenidos en buena condición, capaces de invertir la marcha sin trepidar. La línea de rodillado no debe cambiar repentinamente como tampoco debe invertirse de modo rápido la dirección de operación, para evitar desplazamientos de la mezcla. Cualquier cambio pronunciado de la dirección de marcha debe realizarse sobre material compactado.

Si el rodillado causa desplazamiento del material, las áreas afectadas se desprenden con raspadores o rastrillos restaurándolas a su nivel original con el material desprendido, antes de volver a rodillarlas. No se debe permitir que estacionen equipos pesado, incluyendo rodillos, sobre la superficie, terminada, antes que se haya enfriado totalmente.

La compactación de las mezclas asfálticas se realiza en el siguiente orden:

1. Juntas transversales
2. Juntas longitudinales (cuando linda con un carril previamente colocado)
- 3 Rodillado inicial
4. Segundo rodillado o rodillado intermedio, y
5. Rodillado final.

Cuando se está pavimentando con dos terminadoras en forma escalonada y se compacta la junta entre carriles se deja sin rodillar 50 ó 75 mm (2 o 3 pulg) del borde seguido por la segunda pavimentadora. Los bordes no deben exponerse por más de 15 min. antes de ser rodillados. Se debe prestar especial atención a la construcción de juntas transversales y longitudinales tanto en capas intermedias como superficiales.

Juntas transversales

Al hacer una junta transversal próxima a un carril adyacente, la primer pasada se realiza con un rodillo de acero, que se mueve a lo largo de la junta longitudinal en una distancia corta. La superficie se empareja y se realizan las correcciones si fueran necesarias. La junta es rodillada transversalmente, con el rodillo sobre el material previamente depositado, excepto en los 150 mm (6 plg) de proyección de las ruedas cuando se usa un tandem, (Figura 2) y de una rueda trasera cuando se usa un rodillo de tres ruedas. Esta operación debe repetirse con pasadas sucesivas cubriendo 150 a 200 mm (6 a 8 plg) de material fresco hasta que el ancho entero de la rueda tractora esté sobre la mezcla nueva.

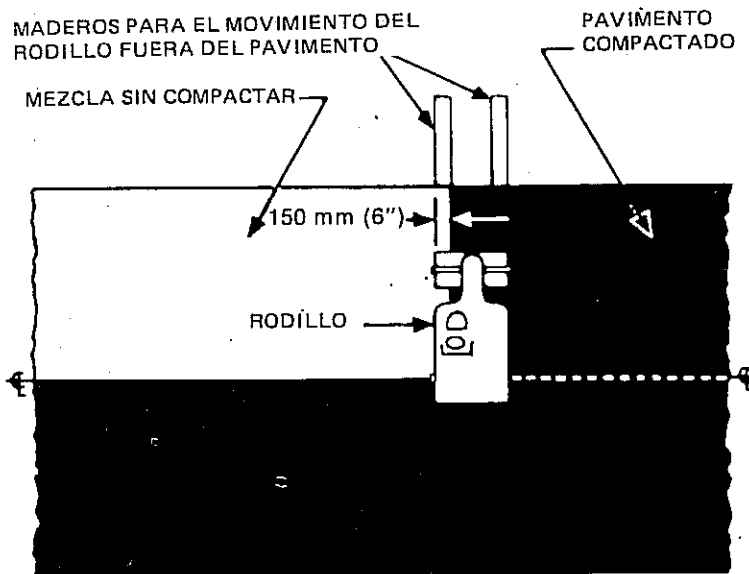


Figura 2. Compactación de una junta transversal

Deben colocarse maderas de espesor apropiado en los bordes del pavimento para el movimiento del rodillo fuera del pavimento. Si los maderos no se usan, el rodillado transversal debe detenerse de 150 a 200 mm (6 a 8 plg) del borde exterior, entre otras cosas, para prevenir el daño en el mismo. Dicho borde debe ser compactado más tarde cuando se realiza el rodillado longitudinal.

Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales se compactan directamente por detrás de la pavimentadora. El rodillo debe ser trasladado al carril previamente construido de manera tal que no más de 150 mm (6 plg) se desplacen más allá del borde del material dejado por el barrido y el acordonado. (Figura 3). En esa posición se opera para compactar el material en su lugar. El rodillo debe continuar el trabajo a lo largo de esta línea trasladando transversalmente su posición hasta dejar totalmente compactada la junta.

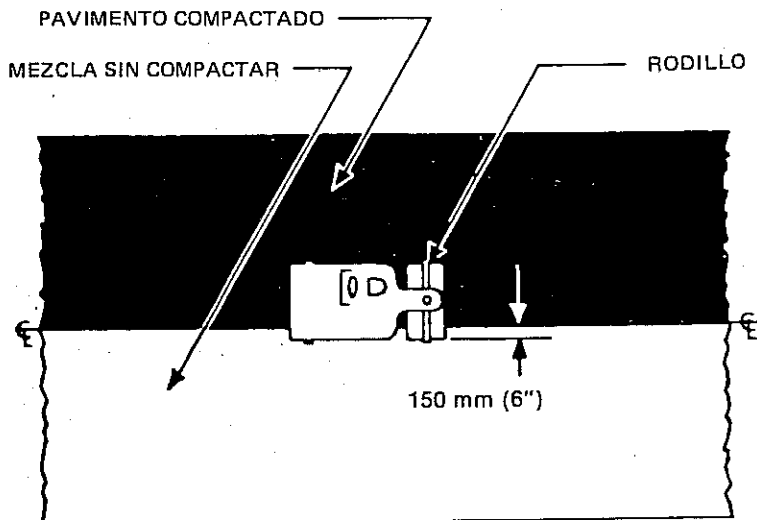


Figura 3. Compactación de una junta longitudinal

Un nuevo método, usado principalmente con rodillos vibratorios, es hacer la primer pasada de rodillo sobre la mezcla caliente separada a 75 mm (3 plg) del carril previamente colocado. Esto deja una elevación de mezcla caliente, no rodillada, Figura 4a. En la pasada siguiente, de retorno, el carril anterior es solapado en alrededor de 75 mm (3 plg), Figura 4b. Debe resultar una buena densidad. Esto previene además el rebote del rodillo y las ondulaciones en la junta por vibración.

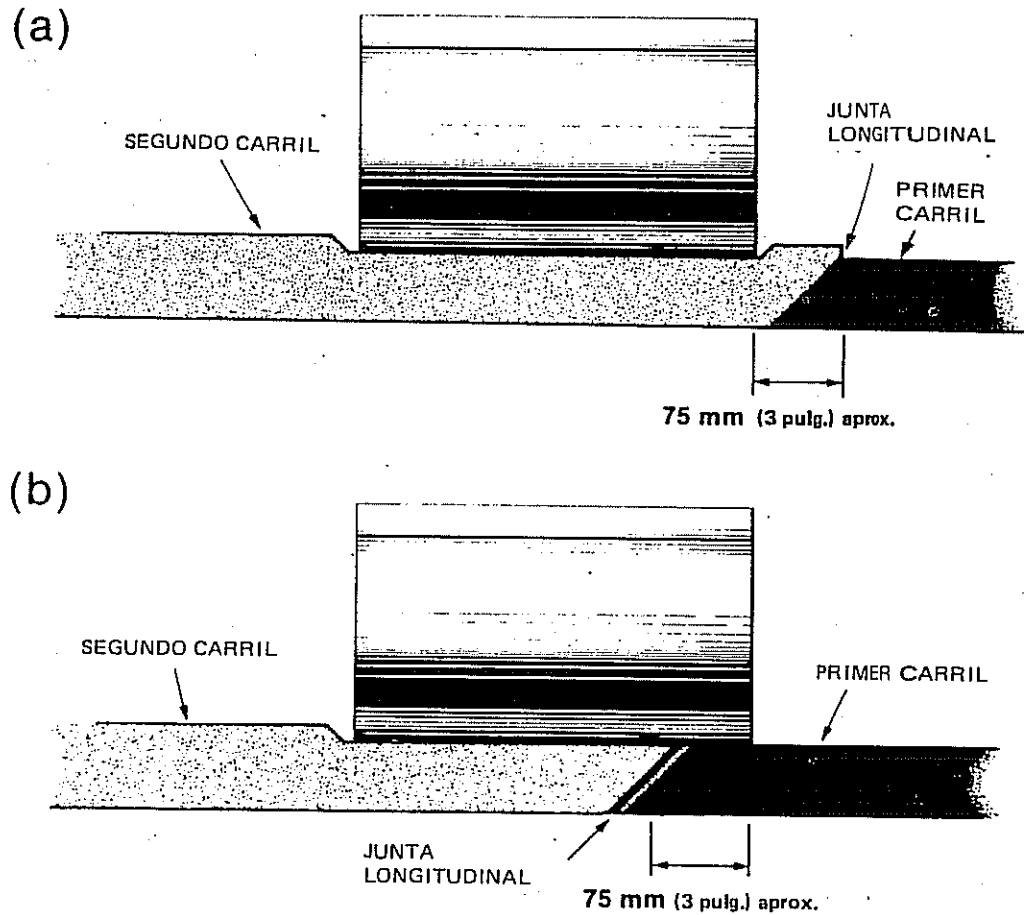


Figura 4. Procedimiento de compactación de juntas - Rodillo vibratorio

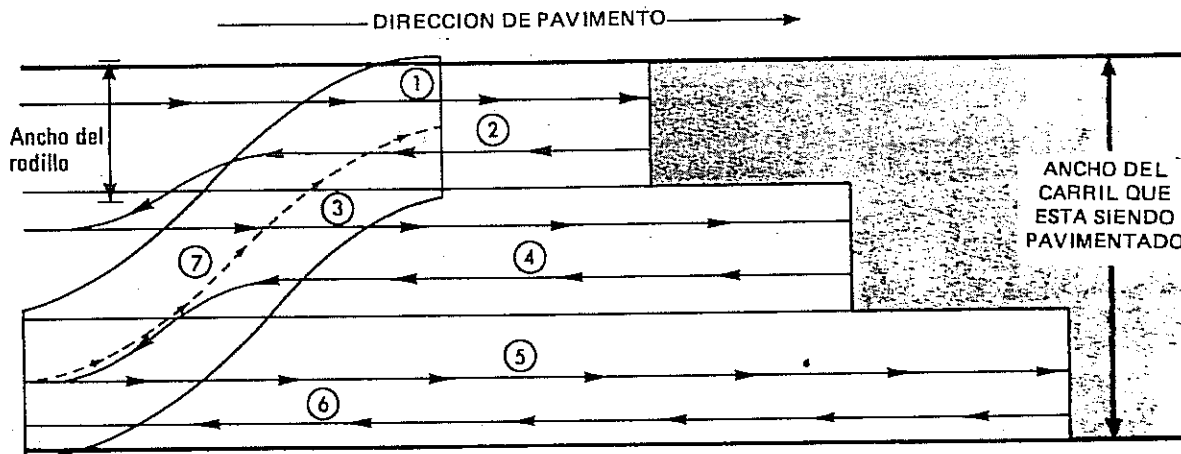
Rodillado Inicial

La mejor forma de realizar el rodillado inicial es con rodillos de acero. Se recomiendan rodillos vibratorios o rodillos estáticos en tandem. Sin embargo, se han usado con éxito los rodillos neumáticos para este propósito, pero normalmente deben limitarse a capas de base.

El peso del rodillo usado en la compactación inicial depende, en alto grado, de la temperatura, espesor y estabilidad de la mezcla que está siendo colocada. Generalmente se usa un peso de 7,3 a 10,9 Mg (8 a 12 ton).

Es importante comenzar la operación de rodillado por el lado más bajo de la distribución, que generalmente es el lado exterior del carril que se está pavimentando y progresar hacia el lado más alto. La razón de esto, es que las mezclas asfálticas cuando están calientes, tienden a desplazarse hacia el lado bajo de la distribución por acción del rodillo. Si el rodillado comenzara en el lado alto la migración es mucho más pronunciada que si se progresa desde el lado más bajo. Cuando se colocan los carriles adyacentes, debe seguirse el mismo procedimiento, después de compactar la mezcla de la junta longitudinal con un ancho de rodillo de 150 a 200 mm (6 a 8 plg).

Debe usarse un modelo de rodillado que provea la cobertura más uniforme del carril. Los rodillos varían en ancho y un procedimiento particular recomendado que se aplique a todos los rodillos es impracticable. Por esta razón, el mejor modelo para cada rodillo disponible debe ser probado y adoptado para obtener la compactación más uniforme en todo el carril. El procedimiento no sólo incluye un número de pasadas, sino también la localización de la primera pasada, la secuencia de las siguientes y el solape de las mismas. La velocidad del rodillado debe ser menor que 4,8 km/h (3 mph) aproximadamente. Además deben evitarse los giros cortos o los arranques y paradas abruptas. Para capas delgadas, se muestra en Figura 5, un modelo recomendado para rodillos estáticos con llanta de acero. La operación debe comenzar desde el borde de distribución en el lado más bajo, con el rodillo moviéndose hacia adelante tan cerca de la pavimentadora como sea posible. En el segundo movimiento se invierte la marcha del rodillo sobre la misma trayectoria hasta alcanzar el material previamente compactado. En este momento debe girar según la trayectoria 3 y moverse hacia adelante a lo largo de ella, nuevamente tan cerca de la pavimentadora como sea posible. El cuarto movimiento es la inversión de la trayectoria 3 y la repetición de la operación previa. Después que el ancho total ha sido cubierto de este modo, el rodillo debe girar a través de la distribución hacia el lado bajo y repetir el proceso. Con este modelo, el solape del rodillo con sus sucesivas pasadas no necesita ser mayor de 75 a 100 mm (3 a 4 plg).



Este es un modelo recomendado de rodillaje. Cada pasada del rodillo debe ser recta en la mezcla compactada y el retorno debe realizarse sobre la misma trayectoria. Después que se han completado las pasadas requeridas, el rodillo debe moverse hacia el exterior del pavimento, sobre el material enfriado, y repetir el proceso.

Figura 5. Modelo correcto de rodillado

Para la construcción de capas gruesas, el rodillado debe comenzar a 300 a 375 mm (12 a 15 plg) desde el borde más bajo sin soporte hasta que la porción central de la distribución es compactada a un cierto grado de estabilidad. Las sucesivas pasadas del rodillo deben luego progresar gradualmente hacia los bordes de la distribución. El borde no compactado provee un confinamiento inicial durante la primera pasada, minimizando de esta manera el movimiento lateral de la mezcla. Después que la porción central ha sido compactada, la mezcla soportará el rodillo y permitirá que el borde sea compactado sin movimientos laterales.

Con rodillos de acero, la operación debe siempre progresar con la rueda motriz hacia adelante en la dirección de la pavimentación. Esto es principalmente importante en el rodillado inicial. El mayor porcentaje de compactación ocurre durante las primeras pasadas. Una razón importante para que este rodillado se haga con la rueda motriz hacia adelante es que existe una carga vertical más directa aplicada por esta rueda que por la rueda directriz (Figura 6).

Si la pasada inicial se realiza con la rueda directriz hacia adelante, la fuerza de empuje y el peso está desviado ligeramente de la vertical, produciendo empuje de material al frente de la rueda. El mayor peso de la rueda impulsora lleva a cabo la compactación mientras la fuerza de rotación tiende a amontonar el material por debajo y al frente de la rueda.

Sin embargo, existen excepciones. Generalmente ocurren cuando se construyen peraltes o cuando la pendiente en la cual se coloca la mezcla asfáltica es excesiva. Las excepciones ocurren cuando debido a estas pendientes, la rueda impulsora del rodillo comienza a traquetear, causando desplazamiento de la mezcla y una superficie muy rugosa. En estos casos el rodillo debe ser invertido para permitir que la rueda directriz compacte parcialmente el material de manera tal que la rueda tractora pueda proceder sobre él.

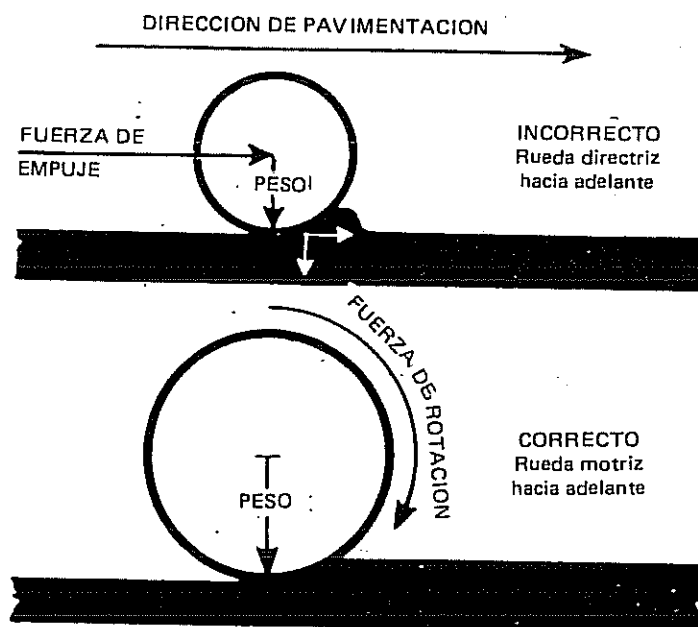


Figura 6. Fuerzas que actúan cuando la rueda directriz o la rueda motriz está hacia adelante

Rodillado intermedio

El segundo rodillado o rodillado intermedio debe seguir inmediatamente después del rodillado inicial mientras la mezcla asfáltica está aún plástica y a una temperatura que producirá la máxima densidad.

Los rodillos neumáticos o vibratorios en tandem pueden usarse para el rodillado intermedio. Cuando se usan rodillos neumáticos, mantener las llantas calientes es la forma más efectiva de prevenir el levantamiento. La aplicación de una pequeña cantidad de detergente no espumoso, o aceite soluble en agua, en la cara húmeda del rodillo neumático al comenzar el rodillado ayuda a prevenir la adherencia del asfalto a las llantas hasta que éstas se calientan.

Los rodillos neumáticos tienen varias ventajas:

1. Proveen un grado de compactación más uniforme que los rodillos de acero.
2. Mejoran el sellado de la superficie, disminuyendo de esa manera la permeabilidad de la capa; y
3. Orientan las partículas del agregado para lograr la mayor estabilidad, así como lo hacen las llantas de alta presión de inflado de los camiones después de usar la superficie asfáltica por algún tiempo.

La presión de contacto de las llantas debe ser continua después del rodillado inicial hasta que toda la mezcla esté compactada. Deben realizarse al menos tres coberturas. No debe permitirse el giro de los rodillos neumáticos sobre la mezcla del pavimento a menos que no cause desplazamientos indebidos.

Los rodillos vibradores de peso estático, frecuencia y amplitud adecuadas se usan para obtener densidades requeridas con menor número de coberturas que las realizadas por los rodillos tandem de peso estático o rodillos neumáticos (o combinación de ambos).

Sin tener en cuenta el tipo de rodillos usado, el modelo de rodillado debe ser desarrollado en la misma forma por el rodillado inicial, intermedio y final. Este procedimiento debe continuarse hasta obtener la compactación deseada.

Rodillado final

El rodillado final se realiza únicamente para mejorar la superficie. Se debe llevar a cabo con rodillos de acero en tandem, de peso estático o vibratorio, mientras el material está aún lo suficientemente caliente para remover las marcas del rodillo.

INSPECCION DEL PAVIMENTO TERMINADO

Textura superficial

El inspector y el personal del contratista deben examinar repetidamente la distribución por detrás de la pavimentadora para comprobar si la mezcla tiene mucho o muy poco asfalto o agregado segregado. Es aconsejable corregir inmediatamente esta condición removiendo el material defectuoso y reemplazándolo con mezcla nueva. Si el material ha sido rodillado antes de descubrir áreas exudadas o pobres, debe removerse toda la superficie afectada hasta la profundidad necesaria y reemplazada con material nuevo.

Tolerancia superficial

No puede dejar de subrayarse la importancia de mantenerse dentro de las tolerancias superficiales en cuanto a lisura. Para el tránsito moderno de altas velocidades, la mayoría de las especificaciones permiten una variación transversal de no más de 3mm en 3m (1/8 plg. en 10 pies). Cualquiera sea la tolerancia superficial especificada y requerida, se trata de obtener la misma tolerancia en cada capa que está siendo colocada.

Después de cada distribución y antes de colocar la próxima capa, la superficie debe ser inspeccionada con una regla para determinar si se está obteniendo la lisura especificada. Se usan en general dos tipos de regla. La más elemental es una regla de madera o de metal que se apoya en el pavimento de manera tal de medir las irregularidades. El otro tipo es una regla deslizante (Figura 7) la cual

mide las irregularidades en un indicador a medida que el inspector la empuja. Cualquier irregularidad que varíe más que la tolerancia establecida por las especificaciones, se corrigen antes de colocar la próxima capa.

Las irregularidades en las capas inferiores se pueden corregir usualmente removiendo o agregando material. En la capa superficial el área entera afectada debe ser removida oportunamente y se debe colocar suficiente material nuevo para formar una superficie nivelada y lisa. Si se obtiene la lisura requerida en la primera capa, las capas subsiguientes pueden colocarse generalmente en forma uniforme mediante simple regulación de la pavimentadora en el espesor deseado.

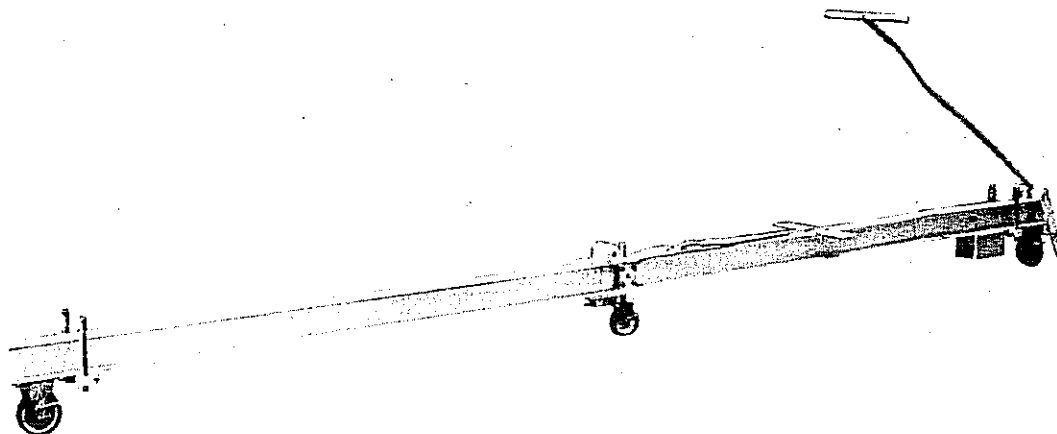


Figura 7. Regla deslizando para controlar la tolerancia superficial

Densidad del pavimento

El grado o cantidad de compactación obtenida mediante rodillado se determina por ensayos de densidad. Ordinariamente las especificaciones requieren que el pavimento sea compactado a un mínimo porcentaje de densidad máxima o de la densidad obtenida por compactación en laboratorio. Es necesario comprobar la densidad del pavimento terminado. Estas determinaciones se realizan en laboratorio en concordancia con el método: Peso Específico Seco de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T 166) en muestras obtenidas por el inspector del pavimento.

Se debe tener cuidado en la obtención y transporte de estas muestras hasta el laboratorio para asegurar un mínimo de disturbación. El muestreo de mezclas compactadas procedentes del camino debe ser efectuado de acuerdo con AASHTO T 168: *Muestreo de Mezclas Bituminosas para Pavimentación*. Una sierra mecánica de pavimentos o una máquina caladora para sacar muestras, proveen la menor disturbación de muestras compactadas de pavimento.

Se usan los ensayos de permeabilidad y los ensayos de densidad nuclear de manera tal que la compactación pueda ser controlada sin tener que obtener una muestra de pavimento compactado. Estos ensayos no destructivos hacen posible la rápida determinación de la densidad de manera tal de poder realizar una compactación adicional, si así se requiere, mientras el pavimento está aún caliente.

OBLIGACIONES ADICIONALES

Muestreo

Además de la obtención de muestras para las mediciones de densidad, puede ser necesario ocasionalmente para el inspector de pavimentos, muestrear el material del camino para ensayos de extracción y granulometría, antes de ser compactado. Estas muestras deben tomarse de la tolva de la terminadora o del fondo del camión en cuatro puntos distintos como mínimo y mezclados en una muestra compuesta. El inspector debe recordar siempre que un ensayo no es mejor que la muestra y que es imperativo que la muestra sea representativa del lote que está siendo ensayado.

Registros e Informes

El inspector de pavimentos debe llevar un registro diario y de él preparar y proponer un informe al final de cada día y semana del trabajo. Estos informes deben redactarse de modo tal que todo el personal de supervisión pueda estar actualizado acerca de cada día completo de operación. Al finalizar el trabajo, el informe puede llegar a ser un registro del progreso de la construcción. Se anotan en el parte diario los cambios de materiales, métodos o condiciones y se relacionan con la ubicación de cada estación (progresiva) en el camino. Cada vez que se realice un cambio en la granulometría o proporciones de la mezcla, debe ser registrado con la ubicación de la mezcla en el pavi-

<p style="text-align: center;"><i>Diario del Inspector del camino</i></p> <p style="text-align: center;">Título de la hoja (Año)</p> <p>PROYECTO Nº ó CATALOGO DE MEZCLA EN PLANTA Nº: DISTRITO: JURISDICCION: RUTA: UBICACION: Desde: Hasta: TONELAJE BASICO TONELAJE ACTUAL: LIMITE DE TIEMPO: COMENZO: TERMINO: CONTRATISTA: INSPECTOR:</p> <p style="text-align: center;"><i>Diario del inspector del camino</i></p> <p>FECHA: TIEMPO: TEMPERATURA: TIEMPO TRABAJADO: ANCHO DEL PAVIMENTO (metros) DESDE ESTACION: HASTA ESTACION:</p>	<p>METROS LINEALES (PIES) EN EL DIA METROS LINEALES (PIES) ANTERJOR METROS LINEALES (PIES) HASTA LA FECHA PROMEDIO Kg/m² (lb/yd²) Mg (TON) DEPOSITADAS HOY Mg (TON) DEPOSITADAS ANTERIORMENTE Mg (TON) DEPOSITADAS HASTA LA FECHA Mg (TON) QUÉ RESTAN COLOCAR SEGUN LISTA % TIEMPO TRANSCURRIDO % TRABAJO COMPLETADO OBSERVACIONES: FIRMA DEL INSPECTOR:</p> <p style="text-align: center;"><i>Diario del Inspector del camino</i> Índice</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 80%;"></td> <td style="text-align: right;">Pag.</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Pag.</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Pag.</td> </tr> </table> <ol style="list-style-type: none"> 1. DESCRIPCION DEL CAMINO A PAVIMENTAR 2. LISTA Y DESCRIPCION DEL EQUIPO DEL CONTRATISTA 3. NOMBRES DE LOS EMPLEADOS DE SUPERVISION DEL CONTRATISTA. 4. DIARIO DE OPERACIONES EN EL CAMINO 5. DISTRIBUCION DEL TONELAJE APLICADO. 		Pag.		Pag.		Pag.
	Pag.						
	Pag.						
	Pag.						

Figura 8. Parte diario del inspector del camino

TEMA F: PAVIMENTACION CON MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE Lección 4 Pág F53

mento. El parte diario es conveniente para el inspector durante la construcción, pero al completarse ésta comienza a ser parte del registro permanente del proyecto. Los modelos de formatos que pueden ser usados por los inspectores del pavimento se muestran en las Figuras 8, 9 y 10.

**DEPARTAMENTO DE CARRETERAS
DIVISION DE ENSAYOS**

Registro Semanal de Pavimentos, Bituminosos

Ruta: Proy.:
R.P.B. Nº :
Jurisdicc. :
Prog. Mant. :
Distrito :
Fecha :

Ubicación:

Tipo y condición del pavimento existente:

Tipo de pavimentadora: Tipo y peso de rodillos Superficie:
Base:

Riego de imprimación

Tipo Proveedor

Ancho Cantidad a regar

Capa de base

Tipo Ancho Kg/m² (lb/yd²)
Proveedor del material

Material bituminoso Agregado

Fecha	Estac.	Mg (ton)	Long. de transporte	Temp. de la mezc.			Temp. del aire			Cond. del tiempo
				Min.	Máx.	Prom.	Min.	Máx.	Prom.	

Capa de superficie

Tipo Ancho Kg/m² (lb/yd²)
Proveedor del material

Material bituminoso: Agregados:

Fecha	Estac.	Mg (ton)	Long. de transporte	Temp. de la mezc.			Temp. aire			Condición del tiempo
				Mínimo	Máximo	Promedio	Min.	Máx.	Prom.	

Observaciones:

Inspector
Dirección

Figura 9. Registro semanal del inspector del camino.

DEPARTAMENTO DE CARRETERAS

Programa de la mezcla en planta N°: Distrito

Proyecto N° M

Fecha Hora inicial HORA Final

Ruta Jurisdicción Tiempo Temperatura

Desde Hasta

Tipo de base Ancho Long. Kg/m² (lb/yd²)

Tipo capa superior Ancho Long. Kg/m² (lb/yd²)

Megagramos (tons) de base del día Anterior Hasta la Fecha

Megagr. (tons) de capa sup. del día Anterior Hasta la Fecha

ESTE REGISTRO

Fecha Comienza del trabajo Limite de tiempo

Megagramos (ton) de este registro Megagramos (tons.) colocados

Balance % tiempo transcurrido % de trabajo completado

Contratista Fecha establecida de finalización

Ultima Fecha - Finalización de registro.

Inspector

Figura 10: Registro diario del inspector del camino.

Control del tránsito

El tránsito debe mantenerse fuera de la superficie con mezcla recientemente colocada hasta que ésta se enfríe lo suficiente para no marcarse. Cuando el tránsito necesita circular en una parte del ancho de construcción es necesario un señalamiento preventivo suficiente, y adecuadamente localizados, de manera tal que no se circule sobre la mezcla fresca. El contratista debe planear su trabajo de manera tal que el tránsito no sea un inconveniente demasiado grande teniendo que viajar sobre carriles largos en una sola dirección. Si es necesario el tránsito unidireccional sobre secciones que tienen visibilidad insuficiente o que carecen de desvíos laterales, debe guiarse el movimiento con hombres-bandera o camión piloto (guía).

Limpieza de la obra

Durante la construcción deben mantenerse adecuadamente limpios los lugares de trabajo. Las mezclas descartadas, tablonés, basura, partes de equipo y herramientas desechadas, etc., no deben dejarse en lugares de paso. Después que las operaciones han finalizado y antes que el personal del contratista se retire, de la obra, el inspector observará que se ha realizado una buena limpieza final del sitio de los trabajos.

LECCION 5

PAVIMENTACION COMPLEMENTARIA DEL CAMINO Y ELEMENTOS ACCESORIOS

Objetivo: Describir las operaciones de pavimentación complementarias comunes a muchos proyectos y describir el uso del asfalto en varios elementos accesorios del camino.

INTRODUCCION	F57
Operaciones de distribución manual	F57
Pavimentadoras pequeñas	F57
Pavimentadoras y distribuidores remolcados	F58
Operaciones complementarias y elementos accesorios.	F58
ENSANCHE DEL CAMINO	F60
General	F60
Construcción	F60
BANQUINAS	F60
General	F60
Construcción	F62
PERALTE	F62
General	F62
Método constructivo	F62
Construcción del peralte	F63
CORDONES ASFALTICOS, REBORDES	F63
General	F63
Requerimientos de la mezcla	F64
Construcción	F64
CUNETAS DE GUARDIA PAVIMENTADAS, VERTEDEROS	F65
General	F65
Requerimientos de la mezcla	F65
Construcción	F66
TALUDES PAVIMENTADOS CON ASFALTO, REVESTIMIENTOS	F66
General	F66
Requerimientos de la mezcla	F66
Construcción	F67

910

LECCION 5

PAVIMENTACION COMPLEMENTARIA DEL CAMINO Y ELEMENTOS ACCESORIOS

INTRODUCCION

Operaciones de distribución manual

El creciente uso del asfalto en la construcción ha incrementado el número de proyectos conexos en los cuales se usan mezclas asfálticas. Por ejemplo, las mezclas asfálticas para pavimentación son usadas en la construcción de accesos a garages, áreas de estacionamiento, banquetas y veredas. Tales construcciones representan, cada vez en mayor medida, una parte del contrato de pavimentación.

Normalmente, los requerimientos de la mezcla para estos trabajos son los mismos que los de las mezclas para caminos. Sin embargo, cuando se prevee que la mayor parte de la colocación será manual, las mezclas deben ser diseñadas con una buena trabajabilidad. Esto es fácil de lograr disminuyendo la cantidad de agregado grueso de la mezcla. Los métodos de colocación y compactación de mezclas colocadas a mano son los mismos que los de la distribución mecánica con la pavimentadora.

Se establecen ciertas diferencias en los métodos de construcción especialmente donde no se dispone de equipamiento especial, como ser terminadoras de veredas. Además, existen lugares en un trabajo de pavimentación regular, donde la distribución con una pavimentadora es tan impráctica como imposible. En estos casos se permite la distribución manual.

La colocación y extendido manual debe realizarse muy cuidadosamente y el material debe ser distribuido uniformemente para evitar la segregación del agregado grueso. Cuando la mezcla asfáltica se deposita en pilas, debe estar lo suficientemente lejos delante de los obreros que la palean, para evitar que dicho personal tenga que mover la pila entera. Debe disponerse de suficiente espacio de manera tal que los obreros no tengan que pararse sobre el material que están utilizando.

El material no debe ser diseminado o esparcido con palas ya que ésto causa segregación. Es preferible depositarlo con palas en montones pequeños y distribuirlo con raspadores. Cualquier parte de la mezcla donde se hayan formado terrones y que no se deslice fácilmente debe ser descartada. Después que el material ha sido colocado, y antes del rodillado, debe inspeccionarse la superficie con plantilla y reglas, y corregir todas las irregularidades.

Pavimentadoras pequeñas

La mayoría de los fabricantes de pavimentadoras asfálticas producen máquinas autopropulsadas para usar en pequeños trabajos. La mayoría de estas máquinas tienen gran parte, o todas, de las características principales de las pavimentadoras convencionales, incluyendo la plancha enrasadora flotante (Figura 1).

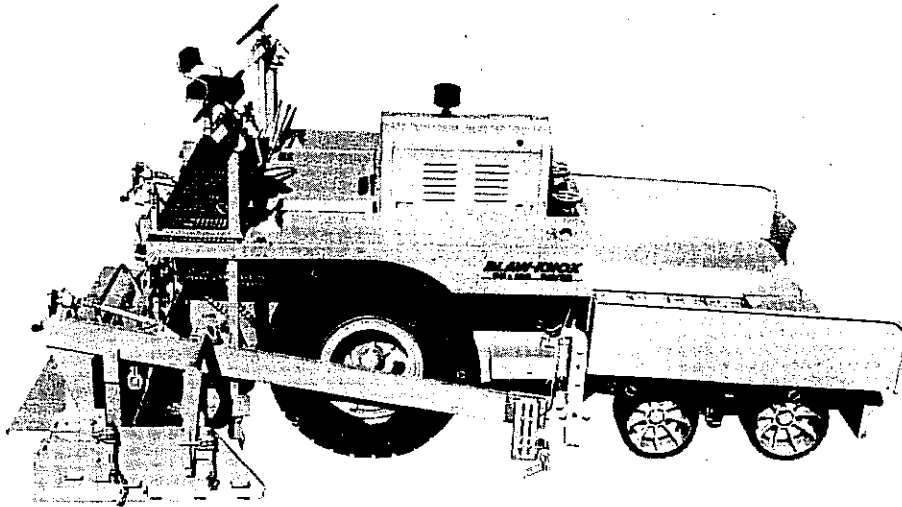


Figura 1. Un tipo de pavimentadora pequeña

Pavimentadoras y distribuidores remolcados

En pequeños trabajos de pavimentación, es a veces más conveniente y económico usar una pavimentadora remolcada que usar pavimentadoras autopropulsadas de mayor tamaño. Aquéllas se enganchan a la parte trasera de un camión volcador que transporta la mezcla asfáltica desde la planta. (Figura 2). El material se deposita en la tolva de la pavimentadora y cae directamente a la base. A medida que el camión se mueve hacia adelante, se nivela el material con una cuchilla, una barra de corte, o por medio de la enrasadora, y se aplana con dicha enrasadora, o con rodillos. La Figura 3 muestra el principio de funcionamiento de una pavimentadora remolcada.

Las pavimentadoras remolcadas están equipadas con enrasadora. Antes de arrancar la terminadora, se debe colocar la enrasadora sobre bloques, como se hacía con las pavimentadoras convencionales. La tolva debe mantenerse llena durante la operación para asegurar una distribución pareja y completa. El distribuidor debe ser remolcado a una velocidad uniforme para cualquier colocación de la enrasadora o de las compuertas. Si la velocidad de remolque varía, la distribución variará en espesor.

Operaciones complementarias y elementos accesorios

Algunos elementos, tales como ensanchamiento de caminos, banquetas y peralte en curvas, son consideradas operaciones complementarias de la pavimentación. El manejo de estos proyectos es descrito con la extensión necesaria para lograr un trabajo de calidad. En algunos casos, tales como en el ensanche del camino y la construcción de banquetas, existen equipos especialmente diseñados y dispositivos que permiten hacer el trabajo fácil y eficientemente.

Ciertos accesorios del camino, como ser, cordones, rebordes, cunetas, desagües, y taludes, comienzan a ser, en forma creciente, parte de los contratos de pavimentación. Para estos trabajos puede requerirse equipos especiales o mezclas asfálticas especiales (o ambos).

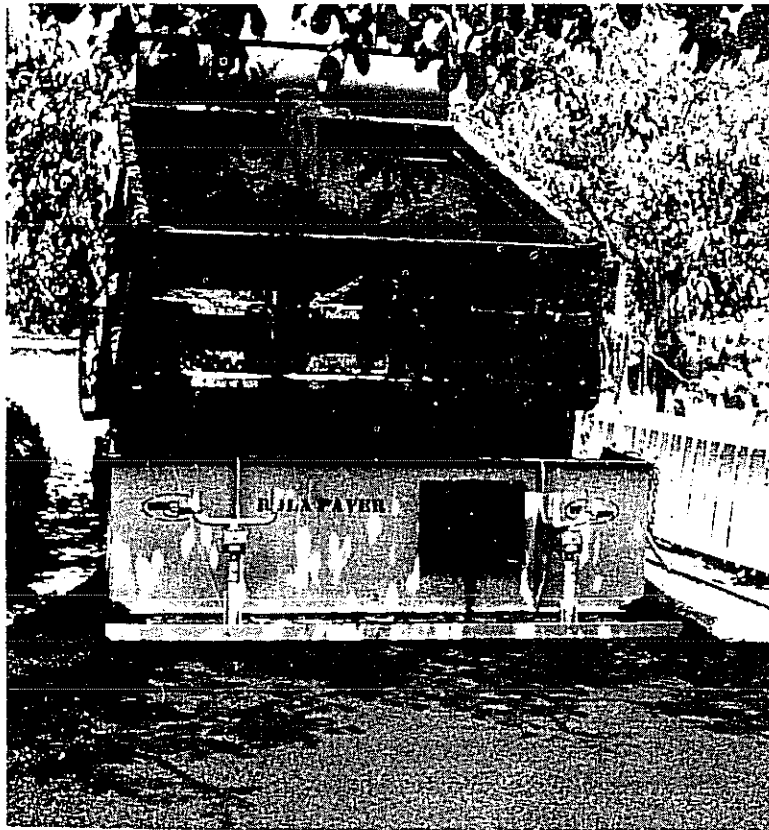


Figura 2. Pavimentadora remolcada en un pequeño trabajo

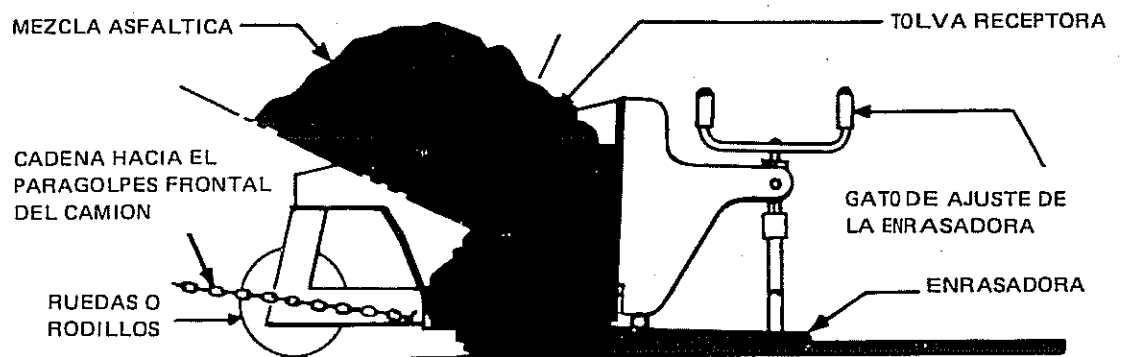


Figura 3. Flujo de material a través de la pavimentadora remolcada

ENSANCHE DEL CAMINO

General

Los pavimentos modernos de dos carriles deben tener de 7,3 a 7,9 m (24 a 26 pies) de ancho. Muchos kilómetros de rutas primarias, pavimentadas durante los años 1920 a 1930, son actualmente inadecuados en ancho y espesor. Los caminos angostos deben ensancharse antes de ser reforzados con otras capas. Una planificación cuidadosa permitirá mejorar el alineamiento original. Una técnica empleada es emplazar la mayor parte o todo el ensanche a uno u otro lado alrededor de las curvas. Las curvas cerradas, ensanchadas en el borde interno a 9,1 m (30 pies) y peraltadas, generalmente corrigen caminos peligrosos.

El ensanchamiento puede variar desde aproximadamente un metro (unos pocos pies) en un costado del camino hasta la adición de carriles de ancho total en ambos lados. Si el tránsito lo justificara, se deberían agregar carriles de aceleración y desaceleración en las intersecciones.

Construcción

A menos que se pueda obtener una densidad adecuada durante la construcción, el ensanche debe realizarse un año antes de la repavimentación, para obtener una consolidación adicional bajo tránsito.

El movimiento del tránsito debe considerarse a lo largo de toda la construcción. No debe permitirse el trabajo simultáneo en ambos lados del pavimento ni zanjas de longitudes excesivas. Sólo se aceptarán zanjas abiertas de longitud suficiente para permitir una operación eficiente.

Los pavimentos bituminosos y rígidos son ensanchados usando esencialmente los mismos procedimientos. Ambos requieren un zanjeo para adecuar el ancho y espesor. Los cortes se efectúan generalmente mediante plantillas o cuchillas de corte unidas a la motoniveladora u otra máquina de manera tal que las paredes y piso queden definidas en su verdadero nivel y alineamiento. La subrasante de la zanja se compacta hasta la densidad requerida o al menos se rodilla hasta que el fondo esté firme y libre de material suelto. Los bordes del pavimento se limpian de todo polvo y material extraño.

El borde del pavimento existente es pintado o regado con una abundante cantidad de asfalto emulsificado. Aquí es donde se puede reflejar una grieta en la superficie terminada de la capa superpuesta, y es también donde, puede infiltrar la mayoría de los escurrimientos superficiales de agua.

La base asfáltica se coloca en capas y se compacta hasta la densidad requerida (Figura 4). Rodillos especiales de zanjeo se usan para rodillar el material colocado en la zanja. (Figura 5). Los rodillos vibratorios, de ruedas de acero, son también adecuados para este tipo de construcción.

BANQUINAS

General

Una banquina pavimentada es una característica de seguridad excelente. Además provee un soporte lateral elevado que aumenta la resistencia de la estructura del pavimento. Las banquinas pavimentadas con asfalto previenen además el escurrimiento de agua por debajo de los carriles del camino.

En la Figura 6 se muestra un diseño de banquina sugerido.

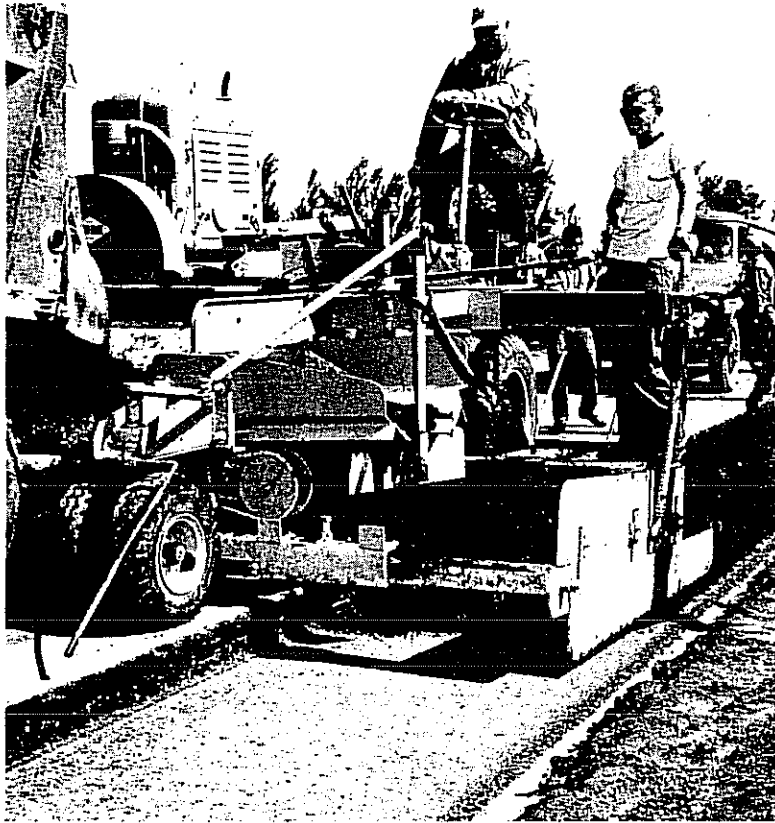


Figura 4. Base de concreto asfáltico colocada con un dispositivo especial en el ensanche de un camino

Figura 5. Rodillo para zanjas

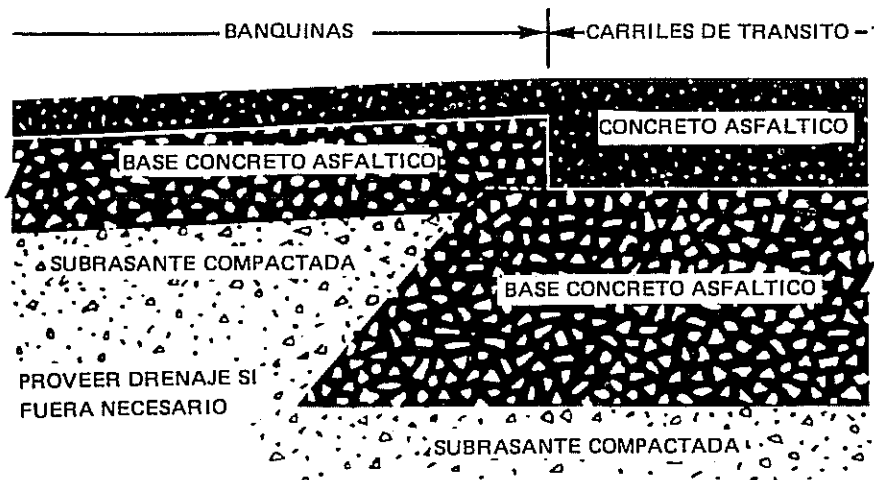
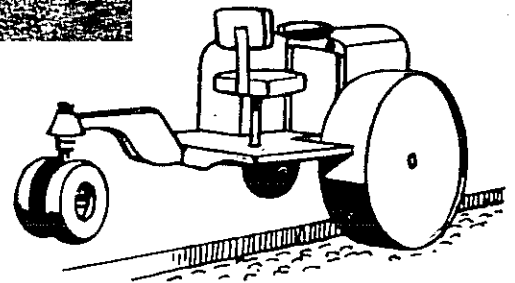


Figura 6. Sección de banquina sugerida; Pavimento asfáltico Full-Depth.

Antiguamente se creía que las banquetas debían ser de material distinto en textura al del pavimento, para evitar que fueran usadas como carriles adicionales. La experiencia ha demostrado sin embargo que es mejor colocar el mismo material superficial en la banquina. Una línea pintada de blanco o amarillo a lo largo del borde del pavimento, proporciona suficiente demarcación de la banquina.

La acción del clima y del tránsito produce después de algún tiempo una coloración distinta muy efectiva para garantizar un uso adecuado del tránsito. Puede colocarse un tratamiento superficial en la banquina, si se desea, que se produzca un ruido sordo al circular sobre ella. Si se quiere un contraste aún mayor, es fácil de obtener mediante un tratamiento superficial en la banquina, usando agregado coloreado.

Construcción

La construcción de banquetas no está necesariamente limitada al concreto asfáltico. La banquina es a veces útil como un carril angosto diseñado para transportar el tráfico liviano o limitado dispuesto adyacente a los carriles de tráfico pesado. Los procedimientos de construcción son, por esta razón, similares a los procedimientos regulares de pavimentos asfálticos.

Cuando se incluyen banquetas pavimentadas como parte de la construcción y pavimentación inicial, se siguen las mismas precauciones y procedimientos usados para los carriles de tránsito pavimentados. Es importante recordar que en la colocación de una mezcla superficial adyacente a una superficie ya terminada, la mezcla debe ser colocada suficientemente gruesa como para que quede al nivel deseado una vez compactada.

Cuando las banquetas se agregan a un camino pavimentado existente, se siguen los mismos procedimientos establecidos para el ensanche de pavimentos. Es importante que la banquina nueva ayude, y no retarde, el escurrimiento superficial del agua. Además la cara vertical del pavimento existente debe recibir un adecuado riego de liga porque es muy posible que ocurra una fisuración entre las dos superficies y admita agua debajo del pavimento.

PERALTE

General

La pavimentación de secciones peraltadas en una construcción nueva no sólo ofrece problemas al equipo de pavimentación. El material preparado de la fundación es también peraltado generalmente. Se debe hacer una franja de camino donde la pendiente transversal de la superficie de una porción recta (tangente) atraviesa una transición hasta la pendiente de peralte.

Muchos caminos existentes que requieren ensanches y repavimentación no están actualmente peraltados en las secciones curvas. Para acomodar en forma segura el tránsito rápido es necesario peraltar las curvas con mezcla asfáltica.

Método constructivo

En construcciones nuevas, donde se coloca el pavimento directamente sobre la subrasante preparada, la fundación es perfilada de manera tal que el espesor del pavimento sea uniforme en la tan-

gente. Los controles de la enrasadora manualmente operados no presentan problemas particulares. A medida que la pavimentadora avanza a través de la transición hasta la sección peraltada, la enrasadora se va inclinando coordinadamente, y en forma gradual, por si se requiere algún ajuste en los controles de la enrasadora.

La pendiente transversal de las pavimentadoras que usan controles automáticos de la enrasadora, se mantiene por medio de un péndulo y un dial, calibrados para la pendiente deseada. Los sensores que se desplazan sobre una cuerda, mantienen el control del nivel del extremo de la enrasadora próximo al sensor. La profundidad del otro extremo depende del control de la pendiente transversal o de la colocación del dial. Cuando la pavimentadora alcanza el punto donde la pendiente comienza a ascender (o a descender) hacia (o desde) la pendiente peraltada, el cambio se registra lentamente a medida que la pavimentadora avanza por la transición. Se pueden usar como guías estas espaciadas que tengan en esos puntos la pendiente requerida. El cambio de inclinación es gradual y los pequeños errores en el registro no afectan la calidad de rodamiento.

Construcción del peralte

En la construcción del peralte de curvas con mezclas asfálticas se realizan cuñas que van de los 50mm (2 plg) en el borde exterior hasta los 25 mm (1 plg) en el borde interior. Las capas sucesivas también aumentan su ancho. Por ejemplo, la Figura 7 muestra un levante de 150mm de altura (6 plg) hecha en tres capas sucesivas de 2,4; 3,0 y 3,7m (8, 10 y 12 pies) de ancho para un carril de 3 m (10 pies). Esto no incrementa el peralte del carril interno. Los peraltes en curvas pueden ser ejecutados tanto con pavimentadoras como con motoniveladoras.

CORDONES ASFALTICOS, REBORDES

General

Los cordones asfálticos han comenzado a ser comunes como accesorios de la pavimentación de nuevos caminos y calles. En las modernas carreteras troncales de doble sentido y las carreteras interestatales, los rebordes de asfalto (cordones) se construyen generalmente en el borde exterior de las banquetas pavimentadas en rasantes elevadas para prevenir la erosión de los taludes.

Los cordones y rebordes se construyen con máquinas automáticas (Figura 8). Estas máquinas colocan, compactan y terminan cordones rectos o curvos para calles, isletas de tránsito, rebordes, separadores centrales y áreas de estacionamiento. No necesitan encofrados. Varios modelos de moldes intercambiables proveen una amplia selección de formas de cordones.

Se coloca la mezcla asfáltica caliente en la tolva de la máquina con la que se construyen los cordones. Un engranaje mecánico de tornillos sin fin, o engranaje helicoidal, empuja la mezcla hacia afuera a través del molde, bajo presión. Esta presión provee compactación y además causa el movimiento de la máquina hacia adelante a 1,2 a 2,3 m/min (4 a 7,5 pies/min).

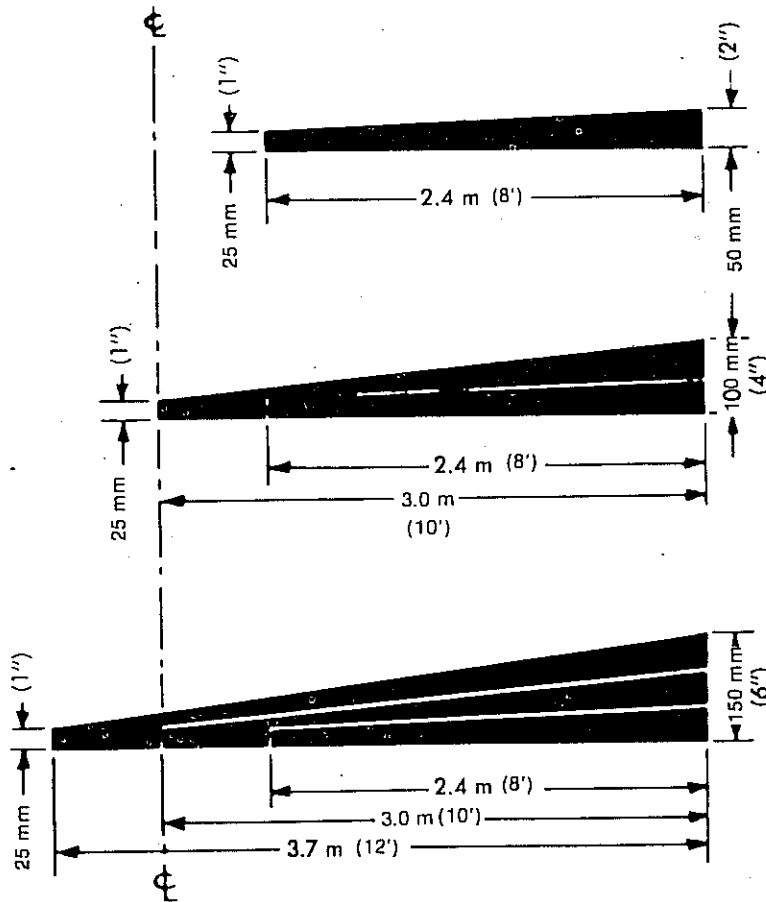


Figura 7. Construcción de curvas peraltadas con mezcla asfáltica

Requerimientos de la mezcla

Básicamente se usa para cordones asfálticos, una mezcla de concreto asfáltico bien graduado. Las mezclas para cordones difieren en que la cantidad y grado del cemento asfáltico son factores altamente importantes para obtener mezclas satisfactorias.

La cantidad de asfalto, sin tener en cuenta el grado usado, debe ser 0,5 a 1,0% más que la normalmente usada para mezclas de pavimentación de carreteras con agregado de igual granulometría. Este asfalto adicional aumenta la durabilidad y facilita la compactación.

Generalmente las mezclas de cordones y rebordes son mejores con un grado de cemento asfáltico AC-20 (AR-8000 o penetración 60-70) que con un cemento asfáltico más blando. De esta manera, cuando se usa un asfalto de menor consistencia, una solución práctica para pequeñas cantidades de mezcla de cordones es agregarle un poco de filler extra a la mezcla.

Construcción

Es práctica general colocar una cuerda o tirar una línea con tiza sobre la fundación que en muchos casos, es el pavimento existente. El borde exterior del cordón o reborde debe estar al menor 50 mm (2 plg) hacia adentro desde el borde exterior del pavimento sobre el que se coloca. Una capa delgada de emulsión asfáltica o de asfalto diluido de curado rápido se aplica a la superficie del pavimento para asegurar la unión con el cordón.

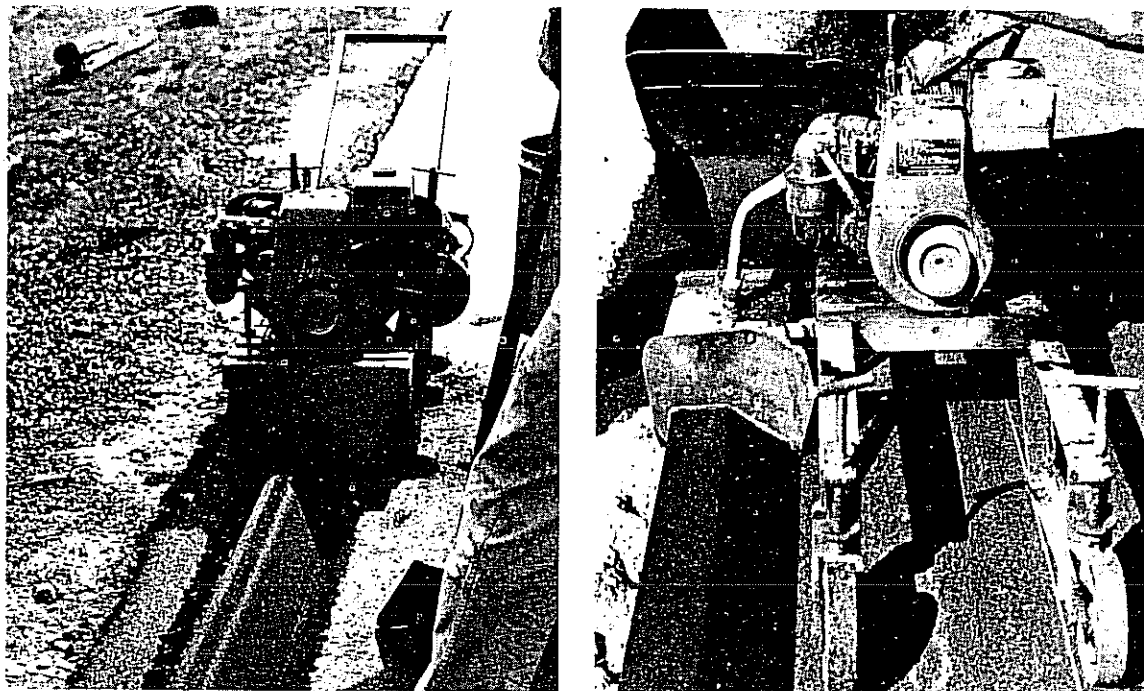


Figura 8. Dos tipos de máquinas que realizan cordones. Los moldes intercambiables proveen una amplia variedad de formas de cordones.

La temperatura de la mezcla en el momento de la colocación es muy importante. Si es muy baja, no es posible obtener una adecuada compactación. Si es muy alta, el cordón puede derrumbarse. Normalmente es satisfactorio un rango de temperaturas entre 120 y 140°C (250 a 285°F)

El trabajo de la máquina no requiere generalmente compactación adicional. Pero en áreas donde resulta evidente que la compactación es inadecuada, la mezcla debe ser ajustada, retardando el movimiento de avance de la máquina mediante frenado o se deben tomar otras medidas para proveer una adecuada compactación.

CUNETAS DE GUARDIA PAVIMENTADAS, VERTEDEROS

General

Las cunetas de guardia, a diferencia de los cordones cunetas, se ubican paralelas a los caminos rurales, al pie del terraplén exterior, o entre calzadas dobles separadas por una mediana deprimida. Sus taludes pueden ser tan anchos y suaves como para dejar crecer el césped. En terrenos ondulados, sin embargo, existen muchos puntos donde es conveniente prevenir la erosión. En secciones en desmonte, es conveniente generalmente construir las cunetas sobre la cima de los taludes y cerca de sus extremos, para prevenir la erosión de los mismos y los deslizamientos. Los vertederos ubicados en la parte baja de los terraplenes, transportan hacia afuera el agua colectada por cordones o rebordes, y están sujetos a altas velocidades. En todos los casos, debe preverse un número suficiente de estos canales de manera tal que el mayor escurrimiento predeterminado sea transportado en forma suave.

En algunos casos, son necesarias grandes cunetas para contener todo el escurrimiento que procede de la vía de circulación. El tipo de revestimiento usado depende del gradiente y clase de suelo. En áreas de suelos erosivos es de gran importancia un diseño adecuado.

Requerimientos de la mezcla

El concreto asfáltico constituye un excelente material de revestimiento de cunetas y vertederos. Las mezclas usadas para capas superficiales de carreteras necesitan sólo ser modificadas mediante el

aumento de los contenidos de asfalto y filler como sea necesario para asegurar la impermeabilidad al agua y la durabilidad. La menor estabilidad resultante no tiene importancia pues se adiciona al revestimiento la capacidad de ajustarse a los pequeños asentamientos sin fisurarse.

A veces es conveniente el uso de un revestimiento permeable pero resistente a la erosión. La permeabilidad de tal revestimiento permite al agua escapar desde abajo del mismo previniendo cualquier daño producido por presión hidrostática y permitiendo el drenaje de áreas adyacentes. Proporciona una superficie estable, flexible, resistente a la erosión, que es permeable debido a la granulometría del agregado usado.

Construcción

Se limpia totalmente la subrasante de todo material orgánico y suelto. Si las condiciones son favorables para el crecimiento de malezas u otras plantas en la subrasante, es necesario tratar el suelo con un herbicida, antes de colocar el revestimiento.

El suelo es compactado suficientemente para alcanzar estabilidad, particularmente en los taludes laterales. Además se lo acondiciona como sea necesario para ponerlo en condiciones de lisura y uniformidad.

Los revestimientos se hacen tan gruesos como sea necesario para soportar el uso y tensiones impuestas pero la experiencia práctica indica que un espesor terminado de 40mm (1,5 plg) de concreto asfáltico debe ser el mínimo especificado.

Existen máquinas de pavimentación con moldes deslizantes, especiales para la colocación de, al menos, parte del revestimiento de cunetas. Pueden usarse cajas extendedoras, máquinas de pavimentación y hasta procedimientos manuales de colocación.

La compactación de mezclas asfálticas en cunetas y vertederos se lleva a cabo con pisones manuales, moldes deslizantes de peso calibrado, pequeños compactadores de pie de tipo vibratorio, u otros rodillos pequeños controlados por cables.

TALUDES DE ASFALTO, REVESTIMIENTOS

General

La pavimentación de taludes puede realizarse en secciones en desmonte y en terraplén. El pavimento se coloca en la cara del talud a alguna distancia de la cuneta, para prevenir socavación y el consiguiente deslizamiento. Este revestimiento es una extensión de la pared exterior de la cuneta, aunque puede tener un espesor diferente. El elemento esencial, en adición a un alto contenido de asfalto y una estructura densa, es el anclaje firme para prevenir la entrada de agua.

Los taludes de los terraplenes se pavimentan para prevenir la erosión. Un tipo de pavimentación de terraplenes es el que se usa en las cabeceras de los puentes. Otra forma es la pavimentación de los taludes de diques de defensa. Un tipo de mezcla caliente de granulometría abierta provee control de la erosión y permite que se escape la humedad del terraplén.

Los revestimientos son taludes de terraplén pavimentados adyacentes a corrientes de agua. En la mayor parte de los casos tales pavimentos son usados para prevenir la socavación y descalce. Las corrientes torrenciales, o la adyacencia a lagos u océanos donde la acción de las olas es un factor determinante, requieren un anclaje sustancial de los revestimientos. Normalmente se prescriben mezclas asfálticas de granulometría cerrada con contenidos de asfalto relativamente altos.

Requerimientos de la mezcla

Se recomienda normalmente el concreto asfáltico tal como el descrito para la pavimentación de cunetas. Nuevamente, no es importante la consideración de la estabilidad de la mezcla, pero si son necesarias la durabilidad y la impermeabilidad al agua. Se recomienda el uso de un mayor contenido de asfalto y una viscosidad menor (AC-20 Penet. 60-70).

Las mezclas asfálticas de granulometría abierta permiten aliviar la presión hidrostática en el terraplén. A pesar de ello, se aconseja un contenido de asfalto relativamente alto.

Construcción

Los procedimientos de construcción para trabajos más pequeños consistirán, en la mayoría de los casos, en métodos manuales de distribución o colocación del material mediante pavimentadoras remolcadas, elevadas o descendidas sobre los taludes por medio de cables. Para trabajos mayores, se puede maniobrar sobre el talud una máquina pavimentadora, también con cables. Se usan a veces máquinas especiales de moldes deslizantes.

La compactación de mezclas asfálticas requerirá en todos los casos un rodillo de acero o vibratorio, levantado o arriado con cables, para obtener un buen resultado.

TEMA G

PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO

Nota para el Instructor

Aunque la preparación, colocación y compactación de mezclas asfálticas en frío no necesitan normalmente equipos tan sofisticados como los requeridos para las mezclas en caliente, no por ello dejan de ser importantes. Un gran porcentaje de los caminos de la nación tienen superficies hechas con mezclas asfálticas en frío.

Se requiere menos control para la preparación de estas mezclas, en la operación con la distribuidora y la motoniveladora. Pero el control en la planta es tan importante como lo es para mezclas en caliente. Sin embargo, muchas plantas productoras de mezclas asfálticas en frío no tienen los elementos necesarios para mantener el control de uniformidad. Siempre que se disponga de los materiales adecuados estos procedimientos de mezclado en planta se usan para alta producción y bajo costo.

La prueba de capacidad a la que se someten los técnicos en asfalto se realiza para comprobar su habilidad en el control de las operaciones de mezclado y colocación y en el mantenimiento de dichas operaciones en condiciones que resulten económicas. En este tema se tratan los fundamentos pero la experiencia mejorará enormemente la habilidad de los técnicos en este tipo de construcción asfáltica.

BIBLIOGRAFIA

1. *Asphalt Cold-Mix Manual*, MS-14. The Asphalt Institute.

LECCION 1

PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO

Objetivo: Describir la conveniencia, diseño y métodos de construcción de pavimentos con mezclas asfálticas en frío.

INTRODUCCION	G 5
Descripción	G 5
Conveniencia en la construcción de pavimentos	G 5
Métodos de preparación de mezclas	G 5
COMPOSICION DE LA MEZCLA	G 6
Agregados	G 6
Asfalto	G 6
Proporciones de los materiales	G 7
CONSTRUCCION	G 8
Preparación de la superficie de apoyo	G 8
Caballetes	G 9
Adición de producto asfáltico	G10
Mezclado con cuchilla de motoniveladora	G11
Mezclado en plantas ambulantes	G11
Mezclado rotativo	G12
Aereación	G12
Distribución y compactación	G13
Capas superficiales en frío	G13
MEZCLAS EN PLANTA	G13
Ventajas	G13
Métodos de preparación	G14

LECCION 1

PAVIMENTOS CON MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO

INTRODUCCION

Descripción

Las mezclas asfálticas en frío son generalmente mezclas hechas con asfaltos diluidos o emulsionados. Estos últimos pueden ser del tipo aniónico o catiónicos, de grados MS y SS. Los asfaltos diluidos pueden ser de grado MC ó SC.

El material pétreo puede ser cualquiera desde agregados triturados de granulometría cerrada hasta suelos granulares con porcentaje relativamente altos de polvo. El agregado en el momento del mezclado puede ser calentado y secado con vapor, aire seco o artificialmente.

Los métodos de mezclado pueden realizarse tanto en el camino, a lo largo de él, como en plantas de mezclado fijas. Las mezclas resultantes generalmente son distribuidas y compactadas a temperatura ambiente; sin embargo, existen excepciones. Las mezclas asfálticas hechas con MC-3000 y SC-3000 son similares a las mezclas asfálticas en caliente porque son mezcladas y colocadas a una temperatura de 93°C (200°F). Además algunas mezclas con emulsiones se producen tibias o calientes.

Conveniencia en la construcción de pavimentos

Las mezclas asfálticas en frío pueden usarse para capas superficiales o de sub-base, si la estructura del pavimento es diseñada adecuadamente. Las capas superficiales en frío son convenientes para tráfico ligero y mediano. Cuando se usan en la base o sub-base, pueden ser convenientes para todos los tipos de tráfico. Los pavimentos en frío tienen especiales ventajas en áreas alejadas: donde existen problemas económicos en la colocación de grandes volúmenes. Las mezclas en frío reducen los costos de construcción pero no la resistencia o calidad de la estructura del pavimento.

Los pavimentos realizados con estos procesos pueden diseñarse y construirse para satisfacer los requerimientos del tráfico corriente. También puede incrementarse el espesor, según lo requiera el tráfico futuro, mediante la adición de nuevas capas de pavimento.

Métodos de preparación de mezclas

Existen cuatro técnicas para la preparación de las mezclas en frío para pavimentos:

1. Mezclado con motoniveladora
2. Mezclado en planta ambulante
3. Mezclado rotativo
4. Mezclado en planta fija.

Todos los métodos de mezclado, excepto los que se hacen en plantas fijas, se consideran técnicas *in situ*. La ventaja principal de este tipo de construcción es que se utilizan agregados locales o disponibles en fuentes cercanas. El agregado y el asfalto pueden ser mezclados *in situ* a bajo costo, con un equipo mínimo. Para facilitar la evaporación de volátiles o humedad de la mezcla, el tiempo debe ser caluroso y seco. Por lo contrario, se requiere un manipuleo en exceso para que pierdan los volátiles en condiciones de clima frío y húmedo. El trabajo debe suspenderse cuando el tiempo es húmedo o cuando esta condición es inminente.

El mezclado con cuchilla motoniveladora es el más simple de los cuatro métodos pero es estacional ya que su uso está limitado a los meses cálidos. El agregado es distribuido sobre una porción del camino y se riega con asfalto a la presión del distribuidor. Las motoniveladoras mezclan luego el producto bituminoso y el agregado removiendo el material hacia delante y hacia atrás, en forma transversal al eje del camino.

Las plantas ambulantes avanzan sobre un caballete de agregado seco, adicionando el asfalto y mezclando los materiales a medida que se mueve hacia adelante. El mezclado es en este caso más completo y uniforme que con cuchilla de motoniveladora. Sin embargo es necesario un mezclado posterior con motoniveladora para airear más ampliamente la mezcla.

El mezclado rotativo se realiza en un tipo de planta ambulante ("pulvi mixer") pero la técnica es diferente. El material a ser mezclado con asfalto se distribuye a un nivel y sección transversal uniforme. La mayor parte de los mezcladores rotativos adicionan el producto asfáltico y lo mezclan con el agregado en una operación. El mezclado se logra mediante paletas o pásas rotativas bajo una cubierta.

El mezclado en plantas fijas, posibilita el control sobre proporciones y mezclado, que otros métodos los proveen sólo parcialmente. Como regla general, muchos de los controles que se realizan en mezclas asfálticas en caliente son dejados de lado en las mezclas asfálticas en frío. En algunos casos, tales como las mezclas hechas con asfalto emulsionado, no necesitan secado o calentamiento previo de los agregados.

COMPOSICION DE LA MEZCLA

Agregados

Pueden procesarse una amplia variedad y combinaciones de agregados y suelo-agregados. Existen muchos casos donde el material de los desmontes del camino, excavaciones o canteras cercanas pueden ser triturados y usados en forma económica. Generalmente, se emplea la producción total procedente de una trituradora por debajo de un cierto tamaño máximo.

Los materiales locales que se pueden utilizar incluyen suelos granulares que tienen más de un 20% que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200), como también arenas y gravas limpias. Los materiales granulares finos, con un alto porcentaje de polvo mineral, pueden causar problemas de mezclado, aireación y compactación.

Los agregados bien graduados son siempre convenientes para cualquier capa de una estructura asfáltica, mientras que los agregados mal graduados o con granulometrías discontinuas son apropiados para capas de base, cuando son adecuadamente utilizados mediante métodos y procedimientos de mezclado *in situ*.

Asfalto

El tipo y grado de producto asfáltico seleccionado para usar en la construcción de pavimentos asfálticos en frío, depende en gran parte del agregado utilizado, método de mezclado y condiciones climáticas. En Tabla 1 se indican los productos asfálticos recomendados para los distintos tipos de mezclas en frío para pavimentación. Usualmente el tipo de agregado decide el tipo de producto asfáltico a usar, mientras que el método de mezclado y las condiciones climáticas determinan el grado, dentro de un tipo dado.

Las mezclas preparadas en plantas fijas por lo general permiten un grado más viscoso de producto asfáltico que el usado en el método de mezclado en el camino. El tiempo fresco requiere un grado de viscosidad más bajo y permite seleccionar un asfalto de curado o corte más rápido que en condiciones cálidas.

Las mezclas preparadas con asfalto emulsionado no requieren agregados tan secos como las preparadas con asfaltos diluidos. Esto disminuye el período de manipuleo y extensión para el secado previo al aire de la mezcla de agregado y producto asfáltico.

Las mezclas frías preparadas para mantenimiento de pavimentos que son almacenadas por un cierto tiempo se confeccionan por lo común usando uno de los grados de menor viscosidad de asfaltos diluidos EM ó EL (MC ó SC).

TABLA 1 GUIA PARA USO DE PRODUCTOS ASFALTICOS EN MEZCLAS FRIAS

TIPOS DE CONSTRUCCION	ASFALTOS EMULSIONADOS											ASFALTOS DILUIDOS								
	ANIONICOS								CATIONICOS			Endurecimien. Medio EM (MC)			Enduraci miento Lento EL (SC)					
	MS-1	MS-2	MS-2h	HFMS-1	HFMS-2	HFMS-2h	HFMS-2a	SS-1	SS-1h	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h	70	250	800	3000	250	800	3000
MEZCLA FRIA EN PLANTA																				
SUP. Y BASE DE PAVIMENTOS																				
AGREG. MAL GRADUADO	X	X	X	X	X	X				X	X					X				
AGREG. BIEN GRADUADO							X	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X
BACHEO, USO INMEDIATO								X	X			X	X		X	X			X	
BACHEO, ALMACENADO															X	X			X	X
MEZCLA IN SITU (MEZCLA EN CAMINO)																				
SUP. Y BASE DE PAVIMENTO																				
AGREG. MAL GRADUADO	X	X	X	X	X	X				X	X					X	X		X	X
AGREG. BIEN GRADUADO							X	X	X			X	X		X	X		X	X	
ARENA							X	X	X			X	X	X	X	X				
SUELO ARENOSO							X	X	X			X	X		X	X				
BACHEO, USO INMEDIATO							X	X	X			X	X		X	X			X	
BACHEO, ALMACENADO															X	X			X	X

Proporciones de los materiales

La cantidad de producto asfáltico para mezclas en frío puede determinarse por medio de los siguientes procedimientos de laboratorio:

1. Métodos de ensayo de Resistencia a la Deformación y Cohesión de Mezclas Bituminosas con Aparato Hveem; ASTM D 1560; y
2. Método de Equivalente Centrifugo de Kerosene (ECK) descrito en Tema D, Lección 4.

Cuando no se dispone de equipos de laboratorio, pueden usarse fórmulas para aproximar el contenido de producto asfáltico en las mezclas de prueba.

Para una estimación del contenido de asfalto emulsionado en la mezcla, se usa la siguiente fórmula:

$$P = 0,05A + 0,1B + 0,5C \tag{1}$$

donde

- P = porcentaje de emulsión asfáltica en peso del agregado seco
- A = porcentaje de agregado retenido en el tamiz de 2,36mm (Nº8)
- B = porcentaje de agregado que pasa el tamiz de 2,36mm (Nº8) y es retenido en 75 µm (Nº200) y
- C = porcentaje de agregado que pasa el tamiz de 75 µm (Nº200).

Ejemplo:
 dado el mismo agregado que figura más abajo

Solución:

$$P = 0,05 (100 - 53) + 0,1 (53 - 6) + 0,5 (6) = 10,05$$

(se adopta el 10% en peso del agregado seco)

Cuando se usa un asfalto diluido EM o EL (MC o SC), el contenido de asfalto puede determinarse mediante la ecuación:

$$P = 0,02a + 0,07b + 0,15c + 0,20d \tag{2}$$

donde

- P = porcentaje de asfalto en peso de agregado seco
- a = porcentaje de agregado retenido en tamiz de 300 μm (Nº50)
- b = porcentaje que pasa el tamiz de 300 μm (Nº50) y retenido en el tamiz de 150 μm (Nº100)
- c = porcentaje de agregado que pasa el tamiz de 150 μm (Nº100) y es retenido en 75 μm (Nº200) y
- d = porcentaje que pasa tamiz de 75 μm (Nº200)

Puede requerirse un contenido de producto asfáltico adicional para agregados absorbentes, tales como escorias, piedra caliza, etc.

Ejemplo:

- Método de construcción: mezclado con cuchilla de motoniveladora;
- Agregado: grava no absorbente cuya granulometría figura más abajo; y
- Producto asfáltico: MC-250

Tamiz	19.0 mm (¾")	9.5 mm (⅜")	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	600 μm (No. 30)	300 μm (No. 50)	150 μm (No. 100)	75 μm (No. 200)
Porcentaje que pasa	100	72	60	53	34	27	14	6

Solución:

$$P = 0,02 (100 - 27) + 0,07 (27 - 14) + 0,15 (14 - 6) + 0,20 (6) = 4,8$$

(se adopta 5% en peso de agregado seco).

CONSTRUCCION

Preparación de la superficie de apoyo

La superficie en la que se coloca el material mezclado debe ser conformada y compactada. La superficie debe ser limpiada con una barredora mecánica para sacar el polvo y otros materiales extraños. Puede ser necesario un riego de imprimación, dependiendo de la condición o tipo de la base o sub-base. Una vez que el riego de imprimación ha curado, y después de 24 hs., se absorbe con arena cualquier exceso de producto asfáltico que hubiera quedado en la superficie.

Caballetes

En varias construcciones con mezcla *in situ*, es necesario colocar el agregado en caballetes. Se usan calibradores de caballetes para asegurar el volumen correcto para el espesor deseado de pavimento.

Generalmente el material suelto en la superficie del camino se halla en cantidad muy pequeña y no es suficientemente uniforme para usarlo en la mezcla del camino. En tales casos se lleva el material sobre las banquetas. Si se utiliza el material del camino, se lo debe colocar en caballete y medirlo. Para mejorar la granulometría o para proveer el volumen requerido, deberá añadirse agregado adicional, tanto como sea necesario.

Si se combinan dos o más materiales en el área que está siendo pavimentada, cada uno será colocado en su propio caballete calibrado. Estos caballetes, son luego totalmente mezclados antes de adicionar el producto asfáltico.

Antes de ser determinada la cantidad correcta de producto asfáltico a aplicar, es necesario estimar la cantidad de agregado del caballete. Sobre él se deben realizar las mediciones indicadas en Figura 1, suponiendo que el caballete es uniforme. Las cantidades se estiman de la siguiente manera:

$$V = \frac{(A + B)C}{2} \text{ metro (pie)} \quad (3)$$

donde

V = volumen del caballete, m^2 por metro lineal (pie^2 por pie lineal); y
 A , B y C = dimensiones del caballete (Figura 1), metros (pies)

$$W_f = W_1 V \quad (4)$$

donde

W_f = cantidad de agregado, kg por metro lineal (lb por pie lineal) de caballete
 W_1 = peso del agregado seco en estado suelto, kg/m^3 (lb/pie^3).

Por ejemplo: un caballete de agregado seco de 0,5m (1,64 pies) de altura, 0,5m (1,64 pies) de ancho superior y 1,0m (3,28 pies) de ancho en la base, tiene un peso seco en estado suelto de $1500 kg/m^3$ ($93,6 lb/pie^3$). Sustituyendo en ecuaciones (3) y (4):

Unidades métricas

$$V = \frac{(0.5 + 1.0) 0.5}{2} \times \text{metros}$$

$$V = 0,375 m^2 \text{ por } m \text{ lineal}$$

$$W_f = 1500 (0.375)$$

$$W_f = 562.5 \text{ kg metros lineal}$$

Unidades norteamericanas

$$V = \frac{(1.64 + 3.28) 1.64}{2} \times \text{pie}$$

$$V = 4,03 pie^2 \text{ por pie lineal}$$

$$W_f = 93.6 (4.03)$$

$$W_f = 377 \text{ lb pie lineal}$$

Adición de producto asfáltico

El producto asfáltico es aplicado por el distribuidor a presión al comienzo del proceso de mezclado, durante el mismo, en caso de mezcladores ambulantes es necesario un control riguroso sobre la viscosidad y cantidad de productos a colocar, para lograr un mezclado adecuado. La distribución del producto asfáltico a lo largo del caballete se estima mediante la expresión:

$$A = \frac{W_r P}{100 G}$$

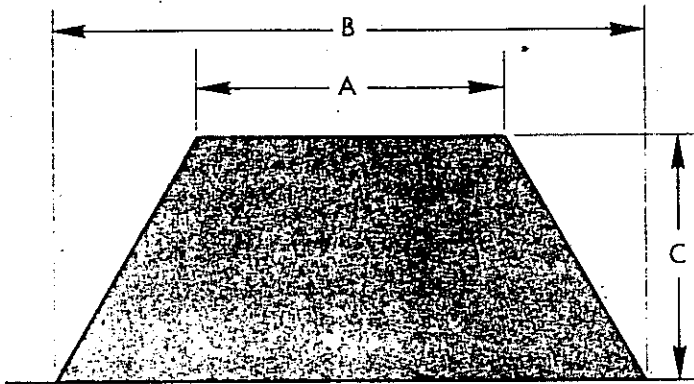


Figura 1. Mediciones a realizar para determinar la cantidad de agregado en el caballete

do:de

- A = cantidad de producto asfáltico a colocar, litros por metro lineal (gal. por pie lineal).
- W_r = cantidad de agregado, kg por metro lineal (lb por pie lineal)
- P = porcentaje de producto asfáltico en peso de agregado seco, y
- G = peso específico del producto asfáltico, kg por litro (lb por gal.)

Ejemplo:

Agregado: peso 562,5 kg/m lineal (377 lb por pie lineal) de caballete
 Producto asfáltico: MC-250, porcentaje a colocar 4% en peso de agregado seco.

Unidades métricas

$$A = \frac{562.5 (4)}{100 (0.96)}$$

A = 23.4 litros por metro lineal

Unidades norteamericanas

$$A = \frac{377 (4)}{100 (8)}$$

A = 1.9 gal/pie lineal.

Es esencial una viscosidad apropiada del producto asfáltico, ya que debe ser lo suficientemente líquido para fluir fácilmente a través de las boquillas del distribuidor y para recubrir adecuadamente las partículas del agregado. Los asfaltos diluidos, aunque ya son fluidos, necesitan un calentamiento para proporcionarles la viscosidad apropiada para el rociado, la cual es 20 a 120 cs. A menos que el mezclado comience inmediatamente, la viscosidad aumentará en forma inmediata por encima de la recomendada para el mezclado, aproximadamente hasta los 150 a 300 cs. Los asfaltos diluidos se mantienen fluidos por los volátiles durante un tiempo suficiente para completar el mezclado *in situ*, si este se realiza de inmediato. A pesar de ello, la temperatura del agregado debe ser por lo menos de 10°C (50°F) a la sombra en el momento de ser mezclado.

Las temperaturas de mezclado y riego para asfaltos emulsionados o diluidos se indican en Tabla 2.

Mezclado con cuchilla de motoniveladora

El mezclado con cuchilla se logra generalmente con el uso de motoniveladoras o algún tipo de rastra de discos múltiples para adherir el asfalto al agregado. Primero se seca el agregado, si está muy húmedo mediante el removido del mismo con motoniveladoras, a lo largo del camino, exponiéndola al aire y sol. Después que su contenido de humedad ha sido reducido a 3% o menos, se aplana el caballete y se lo distribuye uniformemente sobre la mitad del camino.

TABLA 2
TEMPERATURAS TÍPICAS DEL ASFALTO PARA LA CONSTRUCCION EN FRIO¹

Tipo y Grado	Temperatura del producto asfáltico medido en la planta de mezclado	Temperatura del producto asfáltico al colocarlo en el caballete previo al mezclado
Asfaltos emulsionados		
Aniónicos		
MS-1, MS-2, MS-2h	10-70° C (50-160° F)	20-70° C (70-160° F)
HFMS-1, HFMS-2, HFMS-2h, HFMS-2s		
SS-1, SS-1h		
Catiónicos		
CMS-2, CMS-2h	10-70° C (50-160° F)	20-70° C (70-160° F)
CSS-1, CSS-1h		
Asfaltos diluidos		
ER, EM, EL (RC, MC, SC)		
250	55-80° C (135-175° F)	40° C + (105° F+)
800	75-100° C (165-210° F)	55° C + (135° F+)
3000	80-115° C (180-240° F)	-----

¹ Estas temperaturas solo sirven de referencia

² La máxima temperatura de los asfaltos diluidos debe estar por debajo del punto de inflamación.

Se aplica luego el producto asfáltico por medio de un camión regador en aproximadamente 2 ó 3 pasadas de riego. Inmediatamente luego de cada aplicación, el producto asfáltico y el agregado son mezclados parcialmente para dejar en la superficie la menor cantidad de producto libre y para prevenir la acumulación del asfalto.

Al material mezclado parcialmente, después de recibir la cantidad predeterminada de producto asfáltico, se le va dando forma de caballete. Estos son luego removidos hacia adelante y hacia atrás transversal al camino con la cuchilla hasta que las partículas de agregado sean recubiertas y la mezcla tenga una apariencia uniforme.

Durante el mezclado debe prestarse atención a la posición de la cuchilla. Esta debe ser tal que se obtenga una completa acción de mezclado del material a medida que se conforme el caballete. Además durante la mezcla, se debe tener cuidado para no incorporar material extra dentro del caballete y simultáneamente no perder material del mismo. Después de completar el mezclado y la aereación, se traslada el caballete hacia un lado del área a pavimentar, encontrándose en condiciones para su distribución.

Mezclado en plantas ambulantes

El mezclado en plantas ambulantes ofrece la ventaja de un control más estrecho de las operaciones de mezclado que con el método anterior. Tanto las proporciones del producto asfáltico y agre-

gados, como la uniformidad con que ambos pueden ser incorporados, son aspectos de gran importancia.

La máquina mezcladora avanza sobre el caballete, incorporando el productos asfáltico y mezclándolo dentro del mismo a medida que avanza. El flujo por minuto al cual se calibra la bomba inyectora, se determina por:

$$E = AS \quad (6)$$

donde

E = descarga del producto asfáltico, l/min. (gal por min.)

A = cantidad de producto a incorporar, litros por metros lineal (gal. por pie lineal).

S = velocidad de avance, metro. /min.

Por ejemplo: un caballete de agregados debe recibir 20 litros (5,3 gal) de producto asfáltico MC-250 por metro lineal (3,28 por pie lineal) mezclado dentro del mismo con una máquina ambulante. Para una velocidad de avance de 5 metros por min. (1,64 pies por min.) el flujo de bombeo del producto asfáltico se determina usando la (6):

Unidades métricas

$$E = 20 (5) = 100 \text{ litros por min}$$

Unidades norteamericanas

$$E = \frac{5.3}{3.28} (1.64) = 26.5 \text{ gal por min.}$$

Cuando un caballete es demasiado grande para la planta ambulante, se lo debe dividir en dos o más y el producto bituminoso debe ser agregado y mezclado en cada uno separadamente. En general, se necesita un mezclado más efectivo y usualmente se lleva a cabo acompañándolo con una motoniveladora. Esto ofrece además una aereación extra.

Mezclado rotativo

La planta ambulante de mezclado rotativo ("pulvi mixer") combina y mezcla el agregado y producto asfáltico a medida que la máquina se desliza sobre la superficie del camino.

La estabilizadora de simple pasada P&H es un artefacto de mezclado tipo rotativo. Excava el material *in situ*, y lo transforma en material suelto pulverizado, aplica el producto asfáltico lo mezcla y deja el material en condición suelta, listo para la aereación.

El material a ser mezclado se distribuye sobre el camino en un espesor uniforme con una motoniveladora. Luego se adiciona el producto asfáltico por lo general en incrementos de aproximadamente 2,25 lts. por m² (0,5 gal por yd²) hasta que la cantidad total requerida haya sido aplicada y mezclada. Usualmente es necesario un total de 1,8 a 2,7 lts/m² para una capa de 25mm de espesor (0,4 a 0,6 gal/yd²/pulg) de pavimento compactado.

Pueden realizarse pasadas adicionales de la mezcladora, entre las aplicaciones de producto asfáltico, si fuera necesario para un total mezclado y aereación. El perfil del camino se mantiene durante esta operación con una motoniveladora.

Aereación

La aereación de mezclas de granulometría abierta generalmente no es crítica. Pero cuando aumenta la presencia de material fino y la mezcla llega a ser de granulometría cerrada, es necesaria una amplia aereación. Se alcanza una aereación adecuada cuando los volátiles han sido reducidos en alrededor de un 50%. Para mezclas con asfaltos emulsionados el contenido de humedad debe

ser disminuído a no más de 2 a 5% en peso de mezcla total. En el caso de arenas y suelos arenosos que se usan como capas de base y que se afirman en menos de 30 días, los volátiles de la mezcla deben ser reducidos al menos en un 67% .

Estos valores pueden ser determinados de los "Métodos Standar de ensayo para determinación de humedad y de volátiles en mezclas bituminosas" (AASHTO T 110). Este ensayo usa una marmita de metal (similar a la usada para la destilación de asfalto emulsionado), un condensador y un separador de vidrio. Se le agrega un solvente ligero a la muestra de mezcla sin compactar que se coloca en la marmita y se calienta. La destilación puede demorar una hora y media, lo que hace que este ensayo sirva para la determinación del momento en que ha sido logrado el suficiente mezclado. La experiencia con mezcla particular que está siendo elaborada como así el rodillado son de un valor práctico importante para la determinación del contenido de humedad o volátiles cuando no se dispone de los valores antes citados, en forma inmediata.

Distribución y compactación

Por lo común las mezclas abiertas pueden ser distribuidas en el espesor deseado y compactadas inmediatamente después del mezclado. Las mezclas bien graduadas y de grano fino luego de mezcladas y aereadas, son distribuídas en capas no mayores de 100 mm (4") de espesor antes de la compactación. Se usan motoniveladoras para mover el material y se prefieren rodillos neumáticos para densificar este tipo de mezclas.

Después que una capa es totalmente compactada, conformada y curada, se colocan otras capas sobre ella. Esta operación se repite tantas veces como sea necesario para brindar al camino el gálibo y nivel adecuados. Para obtener una superficie lisa se usa la motoniveladora que acondiciona y nivela, al mismo tiempo que los rodillos completan la compactación de la capa superior. Cualquier material suelto debe arrojarse a los costados.

Capas superficiales en frío

Las capas superficiales en frío se ejecutan mezclando agregado mineral y asfalto emulsionado o diluido en una planta mezcladora central o por métodos de mezclado *in situ*. La ventaja principal de las capas superficiales en frío es el mínimo equipamiento necesario para distribuir y compactar el material sobre la superficie del camino. La principal diferencia es que el espesor es usualmente de 25mm (1").

La motoniveladora distribuye el material en una capa suave mientras el rodillo (preferiblemente rodillo neumático) compacta el material por detrás de la niveladora.

Estas superficies de bajo costo tienen igual función que las delgadas capas de rodamiento de mezcla en caliente. Sin embargo, no puede esperarse que resistan tránsito pesado por un período de tiempo prolongado. Por esta razón, generalmente se limitan a caminos de tránsito medio y bajo.

MEZCLAS EN PLANTA

Ventajas

Las mezclas con asfalto emulsionado o diluido preparadas en planta central fija ofrecen ciertas ventajas sobre los métodos de mezclado en camino. Ya que no influyen las condiciones climáticas en la operación de mezclado. Los agregados pueden ser calentados y secados previo al mezclado. El mezclado se lleva a cabo en unos pocos minutos que con los otros procedimientos requeriría horas de trabajo en caballetes.

La planta fija permite un buen control tanto de las proporciones de los materiales en la mezcla

4. Renovar superficies y restaurar la resistencia al deslizamiento de pavimentos deteriorados por el tránsito en los cuales los agregados superficiales han comenzado a pulirse.
5. Restaurar capas de rodamientos afectadas por los agentes climáticos y dar nueva vida a superficies de pavimentos resecas.
6. Proveer una cubierta temporaria en los casos de construcción de pavimentos incompletos y demorados o cuando se trata de una construcción por etapas.
7. Paliar el polvo.
8. Asegurar la adherencia de las capas asfálticas superiores con las bases granulares (riego de imprimación), y
9. Asegurar la trabazón entre la superficie que está siendo pavimentada y la capa superior (riego de liga).

Tratamientos superficiales simples y múltiples

Un tratamiento superficial simple es usado como superficie de rodamiento y como capa impermeabilizadora. Consiste en una aplicación de asfalto cubierto inmediatamente por una capa única de agregado pétreo de tamaño tan uniforme como sea posible. El espesor del tratamiento se aproxima al tamaño nominal máximo de las partículas del agregado pétreo usado en el mismo.

Un tratamiento superficial múltiple provee una superficie de rodamiento y una capa impermeabilizadora más densa que un tratamiento superficial simple y puede adicionar alguna resistencia a la estructura del pavimento. Consiste en dos o más aplicaciones alternadas de asfalto y agregado. El tamaño máximo del agregado de cada distribución sucesiva es usualmente la mitad del de la capa precedente, pero el espesor total es aproximadamente el tamaño máximo nominal de las partículas del agregado de la primer capa. Un tratamiento superficial múltiple también puede obtenerse con una serie de tratamientos simples que produzcan un recubrimiento de espesor no mayor de 25 mm (1 plg.).

Un sellado de arena es una aplicación de material asfáltico cubierta con agregado fino. Puede usarse para mejorar la resistencia al deslizamiento de pavimentos resbaladizos o para protegerlos contra la infiltración de agua o aire.

Los procedimientos de construcción del sellado con arena son similares a aquéllos usados para tratamientos superficiales simples. Típicamente el asfalto se riega a razón de 0,45 a 0,70 l m⁻² (0,10 a 0,15 gal/yd²) y la arena se distribuye a razón de 5,5 a 8,0 kg/m² (10 a 15 lb yd²).

MATERIALES

Asfalto

En la selección del tipo adecuado de asfalto para un tratamiento superficial, se considera:

1. Temperatura de la superficie sobre la cual se ejecutará el tratamiento
2. Temperatura del aire
3. Humedad y viento
4. Condición de la superficie
5. Tipo y condición del agregado pétreo a ser utilizado.

El grado correcto de asfalto para el tratamiento superficial será:

1. Suficientemente fluido, mientras esté siendo aplicado, para poder cubrir la superficie uniformemente, y bastante viscoso para formar una película uniforme que no se escurra hacia las depresiones o desplace en los abovedamientos o en las rasantes con inclinación pronunciadas;
2. Conservará la consistencia requerida después de la aplicación, para mojar al agregado aplicado;
3. Curará y desarrollará adherencias rápidamente;
4. Después del paso del rodillo y del curado, mantendrá al agregado adherido fuertemente a la superficie de la calzada para prevenir su desprendimiento por acción del tránsito.
5. Cuando se aplique en cantidad correcta, no exudará o se desprenderá del agregado con las condiciones variables del tiempo.

Ciertos grados de cementos asfálticos o emulsiones asfálticas satisfacen estos requisitos. En climas cálidos y secos, los cementos asfálticos blandos se pueden usar cuando el agregado seco es colocado inmediatamente después del riego. Las emulsiones asfálticas de curado rápido o los cementos asfálticos blandos son en general, los más aconsejables para tratamientos superficiales.

Los tipos y grados de asfaltos más convenientes para tratamientos superficiales simples y múltiples son:

1. RS-1, RS-2; CRS-1; MS-1; HFMS-1
2. AC2,5 AC-5; (AR-1000; AR-2000; 200/300 ó 120/150 pen.)

Dado que el asfalto se aplica por riego en los tratamientos superficiales, se debe seleccionar la temperatura que dará la viscosidad más efectiva. La viscosidad recomendada es de 20 a 120 centistokes. Las temperaturas necesarias para producir este rango varía ampliamente (Ver tabla 1)

Agregados

Los agregados más duros, gravas, piedras y escorias trituradas pueden ser usados exitosamente como agregados de recubrimientos. Deben cumplir ciertas exigencias de tamaño, forma, limpieza y propiedades superficiales.

El agregado debe ser tan uniforme como sea económicamente practicable, de manera tal que el tratamiento superficial tenga esencialmente una sola capa de partículas. En forma general, el tamaño mayor no deberá ser más que dos veces el tamaño menor, con una tolerancia razonable en las dimensiones para permitir una producción económica. Los agregados de tamaño menor de 13mm (1/2 plg.) proveen una superficie de rodamiento más suave y menos ruidosa que los más gruesos.

TABLA 1 TEMPERATURAS SUGERIDAS PARA REGAR LOS ASFALTOS

Tipo y Grado de Asfalto	Temperatura de aplicación	
	Grados Celsius ¹	Grados Fahrenheit
Emulsiones asfálticas		
CRS-1	50-85	125-185
CRS-2	50-85	125-185
RS-1	20-60	70-140
RS-2	50-85	125-185
MS-1	20-70	70-160
HFMS-1	20-70	70-160
Cementos asfálticos.	130 ⁺²	265 ⁺²

NOTAS

¹ Las conversiones exactas de °F a °C son redondeadas en 5°C.

² La temperatura máxima deberá estar por debajo de la temperatura de vaporización.

TABLA 2 CANTIDADES DE ASFALTO Y AGREGADO PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES Y CAPAS DE SELLADO*

Línea	Tamaño nominal del agregado	Cantidades de agregado kg/m ² (lb/yd ²) ^{1,2}	Cantidades de Asfalto l/m ² (gal/yd ²) ¹	Tipo y grado de asfalto
1	19.0 mm a 9.5 mm (¾ a ½ pulg.)	21.7-27.1 (40-50)	1.58-2.03 (0.35-0.45)	Cemento asfáltico ³
			1.81-2.26 (0.40-0.50)	RS-2, CRS-2
2	12.5 mm a 4.75 mm (½ pulg. a No. 4)	13.6-16.3 (25-30)	0.90-1.36 (0.20-0.30)	Cemento asfáltico ³
			1.36-2.03 (0.30-0.45)	RS-1, RS-2 CRS-1, CRS-2
3	9.5 mm a 2.36 mm (¼ pulg. a No. 8)	10.9-13.6 (20-25)	0.68-1.13 (0.15-0.25)	Cemento asfáltico ³
			0.90-1.58 (0.20-0.35)	RS-1, RS-2 CRS-1, CRS-2
4	6.3 mm a 1.18 mm (¼ pulg. a No. 16)	8.1-10.9 (15-20)	0.68-0.90 (0.15-0.20)	RS-1, MS-1 CRS-1, HFMS-1
5	Arena	5.4-8.1 (10-15)	0.45-0.68 (0.10-0.15)	RS-1, CRS-1 MS-1, HFMS-1

* Estas cantidades de asfalto cubren el rango promedio de condiciones que incluyen bases granulares imprimadas y superficies viejas de pavimento. Las cantidades y tipos de materiales pueden variar de acuerdo a condiciones locales y por experiencias anteriores.

¹ Las cantidades más bajas de asfalto de la tabla anterior deben ser usadas para agregados que tienen menor tamaño. La cantidades mayores se usarán para agregados de mayor tamaño.

² Las cantidades de agregado mostrados en la tabla están basados en un agregado con un peso específico de 2.65. En caso de que el agregado usado tenga un peso específico menor de 2.55 o mayor que 2.75, la cantidad mostrada en la tabla anterior deberá ser multiplicada por la razón entre el peso específico del agregado usado y 2.65.

³ AC-2.5; AC-5; AR-1000; AR-2000; 200/300 pen., 12-/150 pen.
(Nota: en algunas áreas persiste la dificultad en retener el agregado que ha sido ligado con un cemento asfáltico de penetración 200/300. Cuando esto ocurra, el uso de este cementeo asfáltico no es recomendable).

⁴ Es importante ajustar el contenido de asfalto a la condición de la calzada aumentándolo si la misma es absorbente, muy fisurada o de textura gruesa y disminuyéndolo si la calzada está "blanda" con asfalto exudado.

CORRECCIONES SEGUN CONDICIONES SUPERFICIALES

Textura	l/m ²	(gal/yd ²)
Negra, asfalto exudado	-0.04 a -0.27	-0.01 a -0.06
Lisa, no porosa	0.00	0.00
Absorbente — levemente porosa, oxidada	+0.14	+0.03
— levemente disgregada, porosa, oxidada....	+0.27	+0.06
— muy disgregada, porosa, oxidada	+0.40	+0.09

La forma ideal del agregado es la cúbica. Una gran cantidad de partículas lajosas o alargadas es indeseable, porque serán cubiertas completamente por el asfalto, aplicado en cantidad suficiente como para retener las partículas cúbicas.

Es además importante que el agregado esté limpio. Si las partículas están recubiertas con polvo, limo o arcilla, se forma una película que impide la adhesión agregado-asfalto.

Una buena adhesión entre agregado y asfalto y una retención de esta propiedad es esencial para el éxito del tratamiento superficial. La adherencia, sin embargo, está influenciada por muchas variables. El cemento asfáltico no se adhiere bien al agregado húmedo. Una mejor adhesión se obtiene cuando el agregado está caliente y seco (a menos que se use un asfalto emulsionado). Puede tole-

rarse un poco de humedad en climas templados y secos que promueven un secado rápido.

El diseño de tratamientos superficiales se trata en la Lección 2, pero en la Tabla 2 se muestran rangos de aplicación de asfalto y agregados para distintos tamaños de este último.

EL DISTRIBUIDOR DE ASFALTO

El elemento más importante del equipo en la construcción de un tratamiento superficial es el distribuidor asfáltico. Específicamente está diseñado para aplicar el asfalto uniformemente en cantidades apropiadas.

El distribuidor de asfalto (Figura 1) está constituido por un camión o semirremolque sobre el que se monta un tanque aislado. Algunos distribuidores están equipados con un sistema de calentamiento que consiste, en general, en un quemador de gas-oil.

El distribuidor está provisto de una motobomba, capaz de manejar productos que varían desde asfaltos líquidos muy ligeros, que se aplican en frío, como las emulsiones bituminosas, hasta cementos asfálticos muy viscosos, que deben calentarse para obtener la viscosidad de riego. La parte trasera del tanque dispone de un sistema de barras de riego con picos o toberas a través de los cuales el asfalto es forzado bajo presión a salir hacia la superficie de la calzada. Estas barras cubren anchos desde 1,8 a 9,1 m (6 a 30 pies) en una pasada, dependiendo de la capacidad de la motobomba.

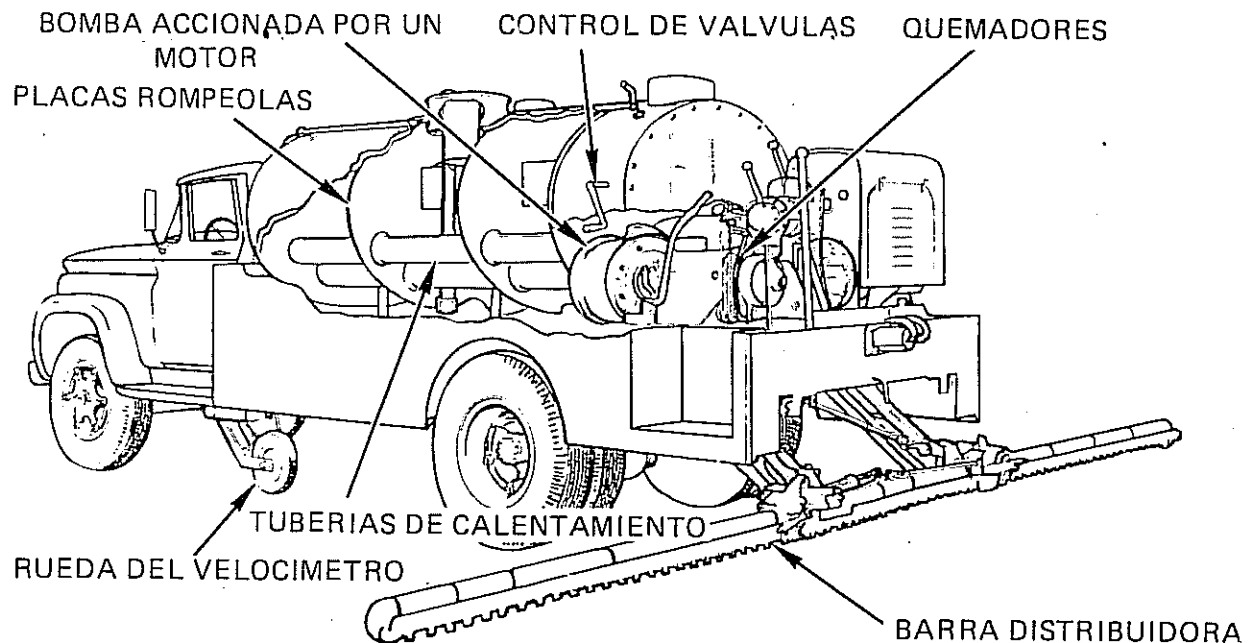


Figura 1. Distribuidor asfáltico

El sistema circulante

El sistema circulante consiste en una motobomba que permite:

1. Llenar el tanque distribuidor
2. Hacer circular el material en la barra y en el tanque
3. Regar el material a través de las barras o de la manguera manual
4. Reintegrar el material de las barras o de la manguera manual al tanque
5. Bombear el material del tanque a un almacenamiento exterior, y

6. Transferir el material de un tanque a otro.

La barra distribuidora debe tener una presión constante y uniforme a lo largo de toda su longitud, para que todos los picos o toberas distribuyan una misma cantidad de material.

Aunque los métodos de mantenimiento de la presión varían, todos los distribuidores usan bombas de tipo a engranajes para regar el asfalto por medio de la barra de distribución. En algunos distribuidores la presión es gobernada por una bomba de velocidad variable y en otros por una de velocidad constante complementada por una válvula reguladora de presión.

La velocidad correcta de la bomba o presión, es aquélla para la cual el asfalto no se atomiza ni distorsiona en el abanico de riego. Una presión muy baja produce riegos estriados, debido a la disminución de apertura de los abanicos en las toberas. Una presión muy alta además de atomizar el asfalto, distorsiona el abanico de riego. Los fabricantes suministran tablas con datos para una adecuada velocidad de la bomba o presión, fijando el caudal de descarga en litros (gal) por minuto, para cada abertura de descarga del pico o tobera.

La barra de distribución de asfalto

Una de las partes más importantes del distribuidor es su barra de distribución, por la cual, a través de sus picos o toberas, debe ser distribuida uniformemente la cantidad adecuada de asfalto en la superficie de la calzada. Si se quiere obtener buenos resultados debe seleccionarse la correcta abertura de los picos o toberas de acuerdo a las condiciones del trabajo. Antes de su uso deberá comprobarse que no estén dañados.

El ángulo formado por el plano del abanico de riego y el eje axial de la barra (Figura 2) debe elegirse de manera tal que los abanicos de asfalto no interfieran entre sí. El ángulo mencionado varía de acuerdo con la marca del distribuidor pero oscila entre los 15 y 30 grados. Es importante que todos los picos o toberas se coloquen con igual inclinación dentro de pequeñas tolerancias.

Además de los ángulos de los picos, el ajuste más importante para asegurar la uniformidad del asfalto distribuido es la altura de la barra de riego con respecto a la superficie del camino. Es importante también que la altura correcta sea mantenida durante toda la aplicación. Una altura incorrecta de la barra de distribución causa los denominados riegos estriados.

Por ejemplo, los mejores resultados con picos espaciados entre sí 100mm (4 plg) se obtienen con una cobertura triple exacta de los abanicos de riego (Figura 3). Pero con toberas separadas 150mm (6 plg) la altura de la barra de distribución es demasiado grande; y los abanicos de riego están sujetos a distorsión por el viento. En estos casos se utiliza una cobertura doble.

Para obtener los mejores resultados, la altura de la barra no deberá variar más de 13mm (1/2 plg). Por lo tanto se tomarán medidas especiales para asegurar el cumplimiento de esta tolerancia máxima, a medida que la carga del tanque se aliviana y los elásticos del camión distribuidor reaccionan y levantan la barra. El bastidor de éste puede ser atado al eje durante la distribución. Algunos dis-

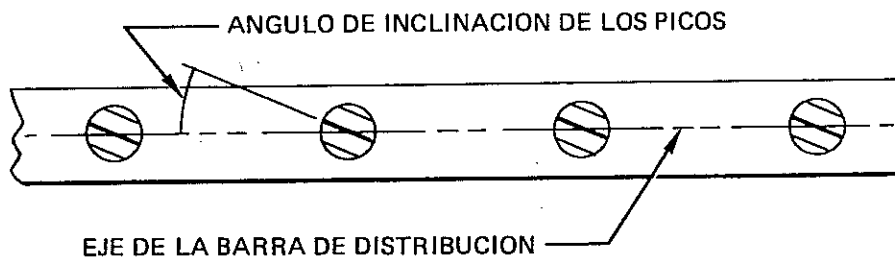


Figura 2. Angulo correcto de inclinación de los picos

tribuidores tienen controles mecánicos para mantener la altura apropiada.

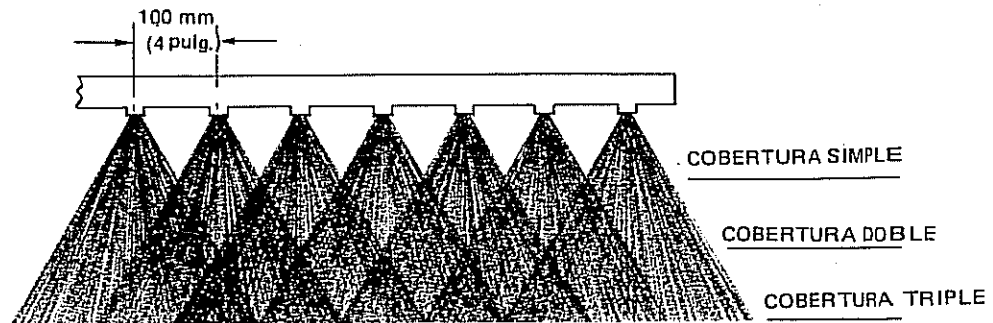


Figura 3. Superposición de los abanicos de riego

Controles

Los controles incluyen un sistema de válvulas que gobiernan el flujo del material; un contador de revoluciones para la bomba (R.P.M.) o un manómetro, que registra el caudal de la misma; y un velocímetro preciso y un odómetro que indican la distancia por minuto y la distancia total recorrida.

Determinaciones del asfalto aplicado

Es necesario conocer el caudal de la bomba y la velocidad del distribuidor. Esta última se registra mediante una rueda con rodamientos de goma montada en un bastidor retráctil con un cable que la conecta a un dial circular ubicado en la cabina del vehículo (Figura 4). En dicho dial se registra la distancia por minuto, la distancia de viaje y la distancia total.

Los velocímetros deben ser verificados por calibración a intervalos regulares. La rueda del mismo debe ser conservada limpia para asegurar el registro preciso de la velocidad del camión distribuidor. La acumulación de asfalto en la rueda producirá error.

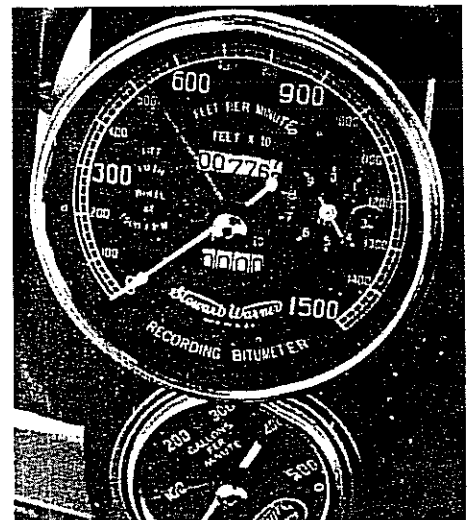
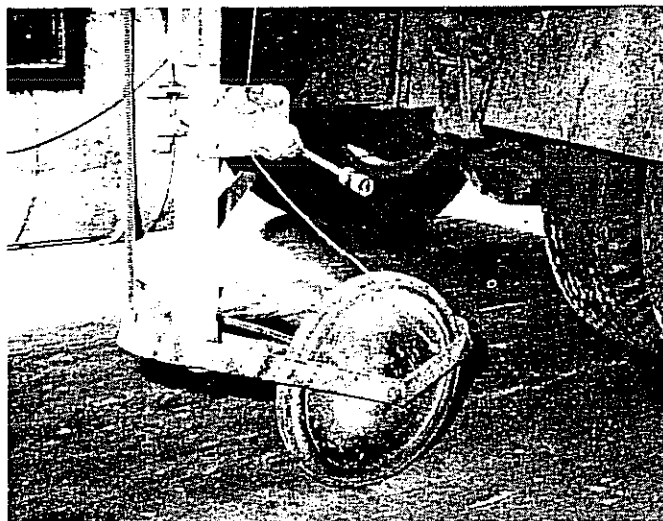
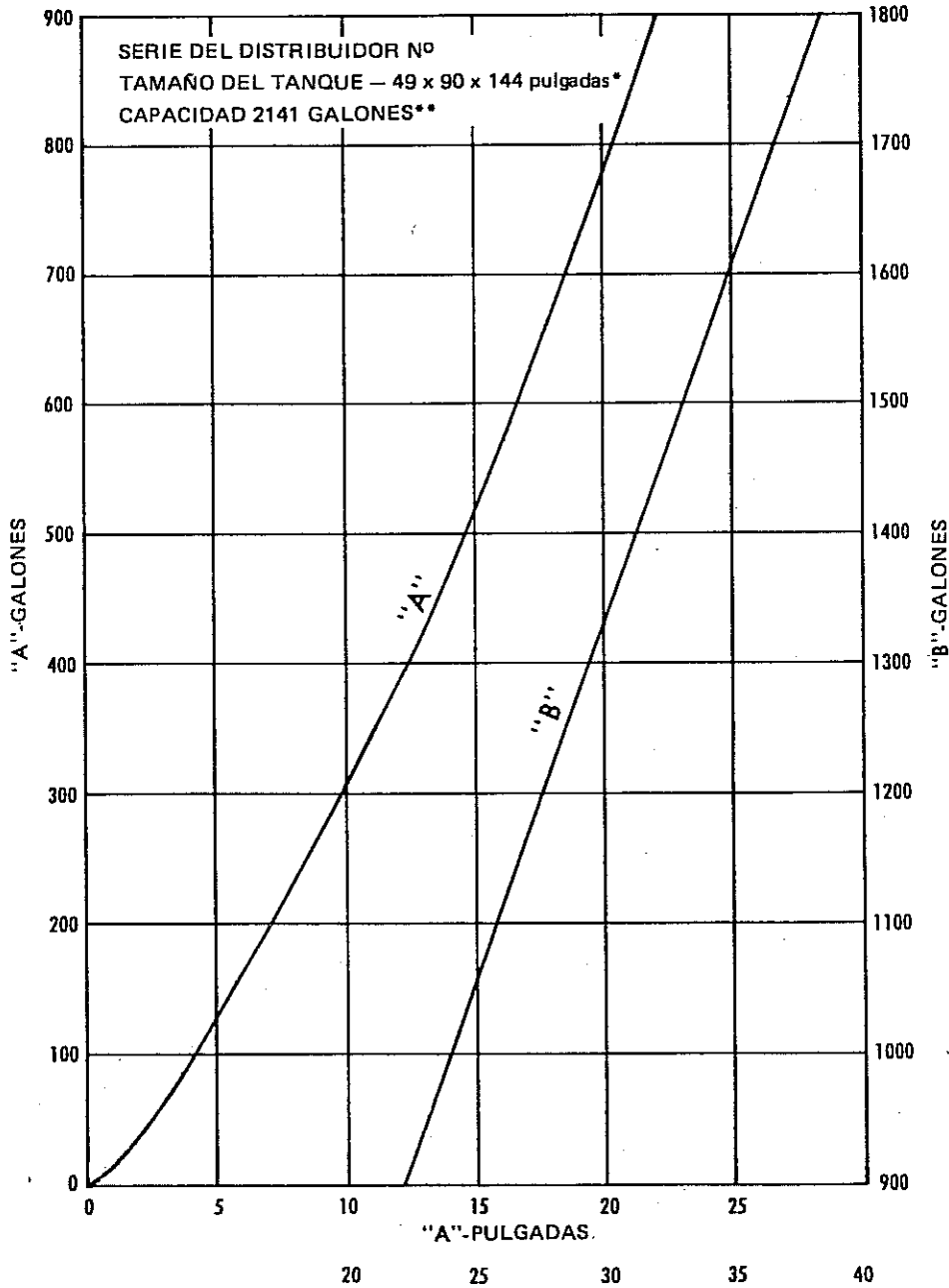


Figura 4. Rueda y dial del velocímetro

Calibración: Ejemplo en unidades norteamericanas usuales

Todos los distribuidores tienen dispositivos marcadores y varillas indicadoras para señalar el contenido del tanque. La mayoría de las varillas están calibradas con incrementos entre 25 y 50 galones, pero generalmente es necesario verificar el contenido del tanque más cuidadosamente. Se deberá preparar una curva de calibración (Figura 5) registrándose los volúmenes cargados con varillas indicadoras, de manera tal que los contenidos del tanque puedan ser determinados con una aproximación de 5 a 10 galones. También se prepararán curvas similares con unidades métricas.



* Multiplicar galones por 3.785412 para obtener lts. "B"-PULGADAS
** Multiplicar pulg. por 25,4 para obtener mililitros.

Figura 5. Calibración del tanque medida desde la tapa de la boca de registro hasta la superficie del material

DISTRIBUIDORES DE AGREGADOS

Tipos de distribuidores

El equipo que le sigue en importancia al distribuidor de asfalto es el distribuidor de agregados. Un buen distribuidor, operado apropiadamente, no alterará el agregado y producirá una distribución uniforme. Los distribuidores pueden variar desde un tipo sencillo unido al fondo de la caja del camión, hasta una unidad autopulsada de gran rendimiento.

Existen muchos tipos de distribuidores adosados a la parte trasera de los camiones. El más simple es el mostrado en la (Figura 6). Otro tipo consiste en una tolva con un rodillo descargador activado por un par de pequeñas ruedas que se apoyan en los neumáticos traseros del camión (Figura 7).

Los distribuidores mecánicos (Figura 8) son tolvas sobre ruedas que se enganchan a un camión transportador de agregados y que son impulsados por éste cuando avanza marcha atrás, las tolvas tienen distintos anchos y capacidades. Generalmente disponen de un sinfín para distribuir el agregado a todo el ancho de la tolva. Tienen dispositivos para regular las compuertas de alimentación, los rodillos alimentadores, el acoplamiento y el sinfín. Todos los distribuidores de compuerta y los mecánicos que son remolcados por el camión tienen la desventaja de que el mismo debe ser operado marcha atrás con la consecuente pérdida de control de la dirección y reducción de la velocidad.

En la Figura 9 se muestra un distribuidor autopulsado. Esta máquina se mueve hacia adelante y hace posible una aplicación de agregados continua y muy uniforme. Es capaz de mantener la misma velocidad que el distribuidor de asfalto. Es automotriz y tiene una tolva receptora en la parte posterior. Los camiones que transportan el agregado se enganchan al distribuidor, vuelcan sus cargas en la tolva y son arrastrados por él. Un par de cintas transportadoras lleva el agregado a la parte frontal de la máquina donde lo deja caer dentro de la tolva distribuidora (Figura 10). El agregado fluye sobre un rodillo que facilita su caída a una criba que obliga a las partículas más gruesas a tomar contacto primero con el asfalto y luego a las más pequeñas a caer sobre él.

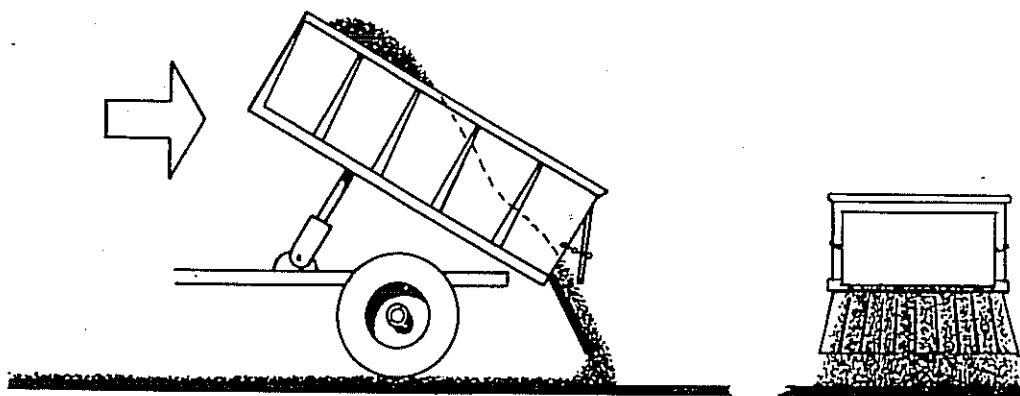


Figura 6. Distribuidor de agregados

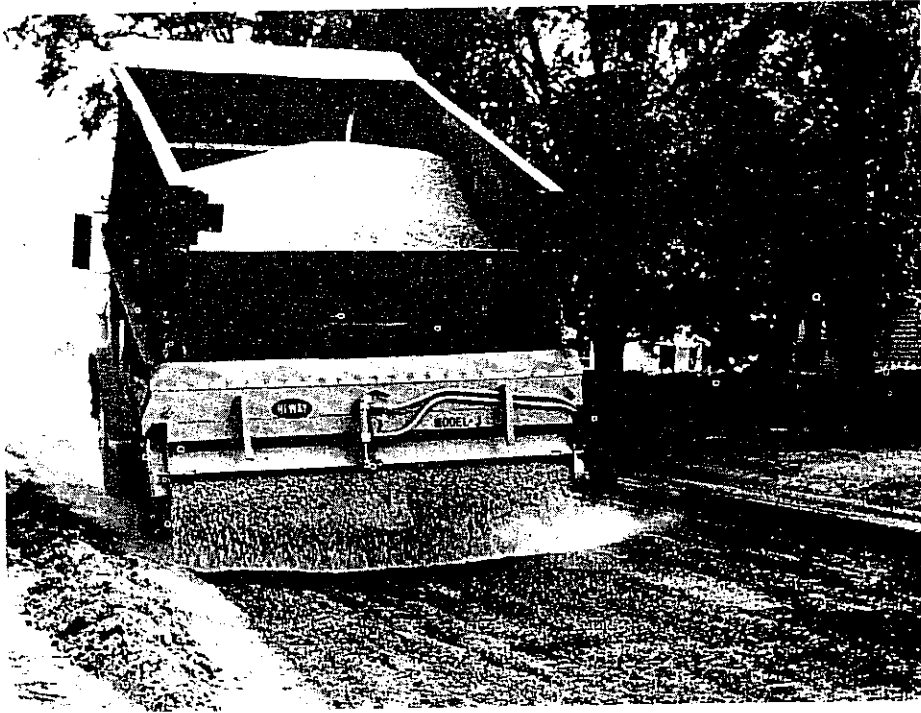


Figura 7. Distribuidor tipo tolva trasera

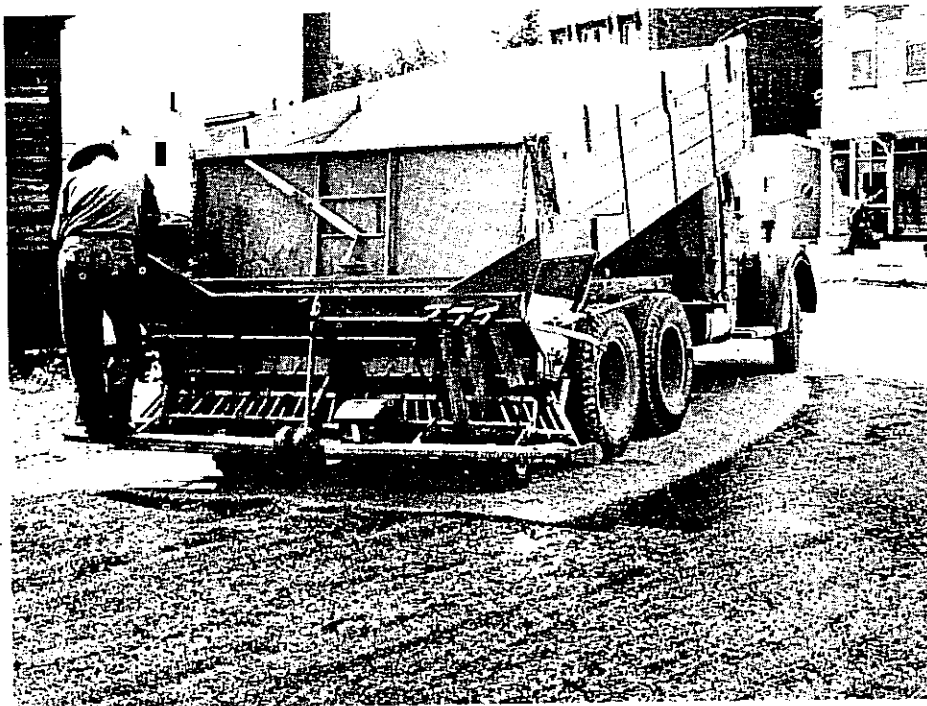


Figura 8. Distribuidor mecánico

350

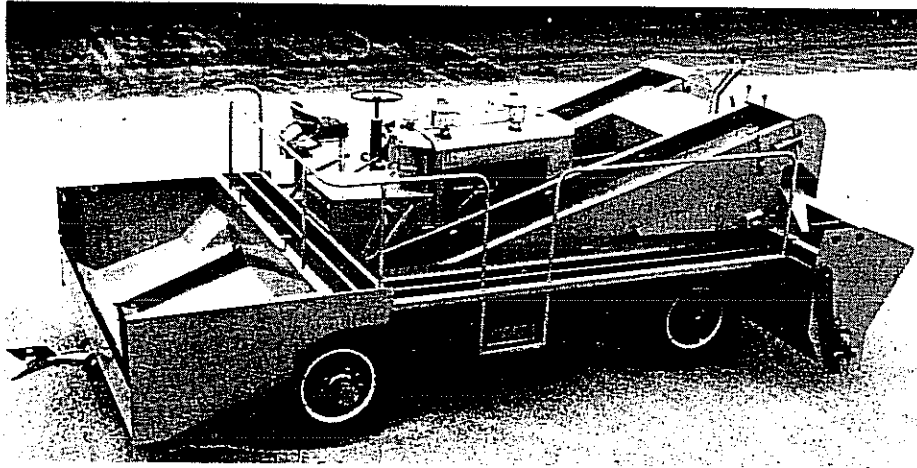


Figura 9. Distribuidor de agregados autopropulsado

Calibración

La calibración y los ajustes para todo tipo de distribuidor de agregados deberá ser hecha de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes y manuales de operación. Existen algunas recomendaciones adicionales para asegurar buenos resultados:

1. Resulta muy útil disponer de un velocímetro como auxilio en el mantenimiento uniforme de la velocidad del distribuidor.

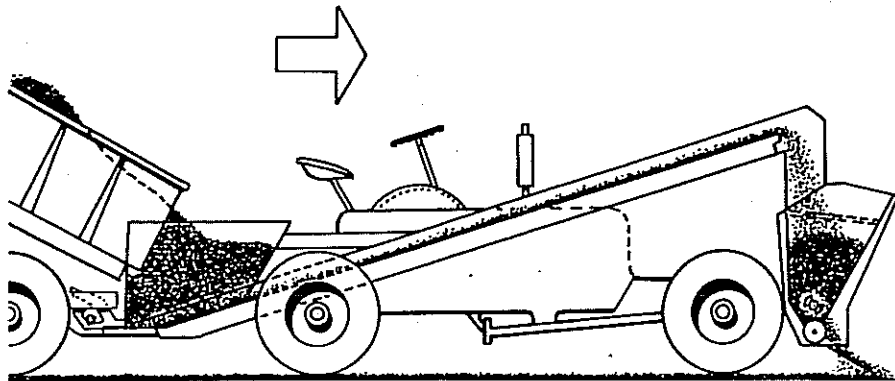


Figura 10. Flujo del agregado a través de un distribuidor autopropulsado

2. Las cantidades de agregados a distribuir pueden ser verificadas con mayor precisión determinando la distancia que cada camión de agregados debe cubrir.

3. Una verificación rápida se puede hacer también colocando un metro cuadrado de lona o papel de construcción sobre el pavimento (o una caja poco profunda de un metro cuadrado sostenida con clavos o tornillos sobre el asfalto) y pasando luego sobre ellos con el distribuidor. La lona, el papel o la caja se levantan luego cuidadosamente y se pesa el agregado que hay sobre ellos. Esto dará el peso por metro cuadrado de agregado que se está distribuyendo.

OTROS EQUIPOS

Equipos de limpieza

A menos que la superficie a cubrir esté completamente limpia, el asfalto no podrá adherirse al pavimento. Por esta razón es necesario limpiar toda la superficie antes de regar los materiales asfálticos. Se recomienda una barredora mecánica autopropulsada de calles, Figura 11, que levanta tanto el polvo como las partículas sueltas; pero si no se dispone de ella se puede usar una barredora mecánica de cepillo rotatorio. Cuando se utiliza dicha barredora, es necesario regar con agua para cumplir exigencias sobre pureza del aire.

Las barredoras mecánicas descritas se usan además para remover partículas desprendidas después que se complete el tratamiento.

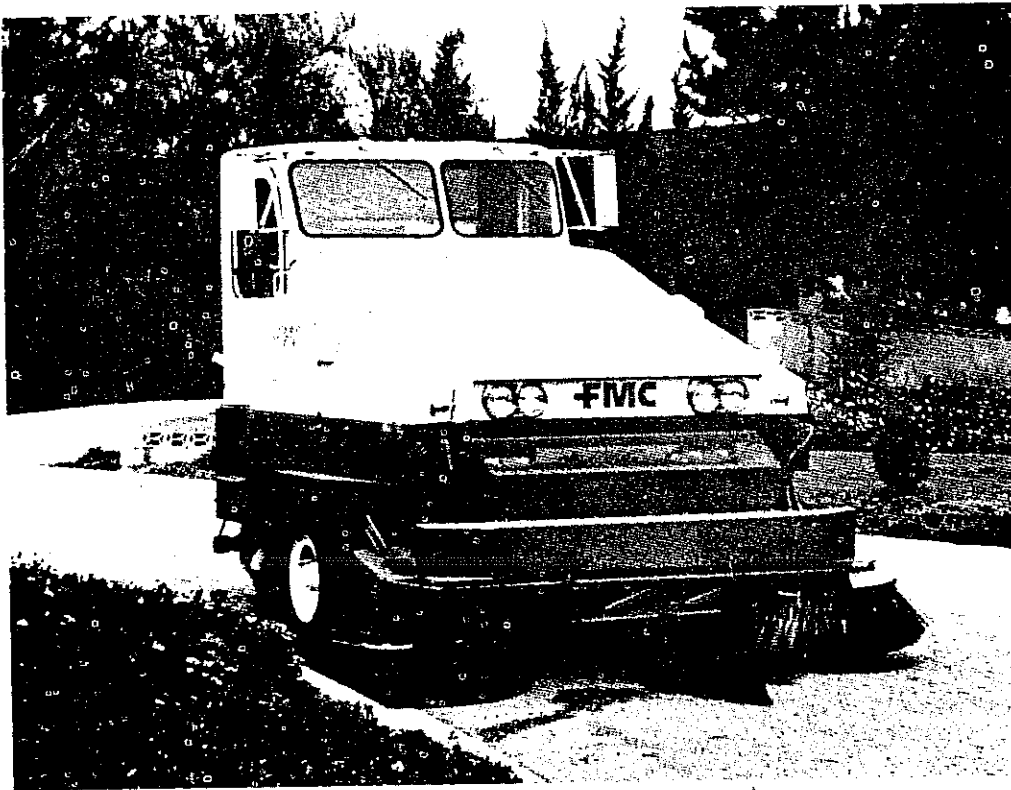


Figura 11. Barredora mecánica autopropulsada

Rodillos

La fijación de las partículas del agregado pétreo es una parte importante en las operaciones de un tratamiento superficial. Existen varios tipos de compactadores, pero los rodillos neumáticos múltiples y las aplanadoras tandem de ruedas de acero son los que generalmente se usan.

En tratamientos superficiales se recomienda el uso de rodillos neumáticos autopropulsados. Los neumáticos fuerzan al agregado a penetrar firmemente dentro del asfalto sin triturar las partículas. Las aplanadoras de ruedas de acero saltean es decir dejan de pisar las partículas más chicas y las pequeñas depresiones. Estas aplanadoras pueden llegar a romper las partículas más blandas, de manera tal que la degradación toma lugar aún antes de que el tránsito use la nueva superficie. Las aplanadoras de rueda de acero deben emplearse sólo como complemento de los rodillos neumáticos múltiples.

LECCION 2

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES SIMPLES Y MULTIPLES - 2

Objetivo: Describir los procedimientos de diseño y construcción de tratamientos superficiales simples y múltiples.

DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	H19
Consideraciones de diseño	H19
Fórmulas de diseño para tratamientos superficiales simples	H19
PREPARACION PARA LA CONSTRUCCION	H23
Estudio del proyecto	H23
Preparación de la superficie del camino	H23
Clima	H23
Equipos y materiales	H23
OPERACIONES EN UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL	H24
Distribución del asfalto	H24
Juntas transversales	H26
Juntas longitudinales	H26
Distribución del agregado pétreo.	H26
Rodillado	H27
Agregado en exceso	H27
Regulación del tránsito	H27
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES MULTIPLES	H28
Descripción	H28
Fórmulas de diseño	H28
Procedimientos de construcción	H31

LECCION 2

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES SIMPLES Y MULTIPLES - 2

DISEÑO DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Consideraciones de diseño

El diseño de los tratamientos superficiales requiere proporcionar el asfalto y el agregado, de acuerdo a las características distintivas del agregado. Se debe analizar la superficie que va a tratarse y los efectos que el tránsito produce en la misma. También se considerará el propósito del tratamiento.

El agregado pétreo, cuando es distribuido sobre la superficie regada con asfalto, contiene aproximadamente un 50% de vacíos entre partículas. El paso de los rodillos lo reduce hasta aproximadamente un 30% y el tránsito, a través del tiempo, lo reducirá hasta aproximadamente un 20%.

Para que tenga un buen comportamiento, el asfalto debe llenar un 70% aproximadamente de este 20% de vacíos si el tránsito es bajo. Sin embargo el asfalto ligante no deberá llenar más del 60% de los vacíos si el volumen de tránsito es alto.

La textura superficial influye en la cantidad de asfalto necesario. Generalmente se necesita una cantidad de asfalto adicional por sobre el requerido para ligar el agregado de recubrimiento, cuando se deba llenar y corregir deficiencias o irregularidades superficiales.

Fórmulas de diseño para tratamientos superficiales simples

Varias consideraciones, junto con experiencias prácticas han conducido al desarrollo de la ecuación siguiente, que determina la cantidad unitaria de agregado pétreo de recubrimiento en un tratamiento superficial simple.

Sistema métrico

$$C = M [(1 - 0.4V) HGE]$$

Unidades usuales norteamericanas

$$C = M [46.8(1 - 0.4V) HGE]$$

donde:

C = distribución unitaria de agregado del recubrimiento, kg/m² (lb/yd²)

V = vacíos en el agregado de recubrimiento en estado suelto, o en unidades U.S.:

$$V = 1 - \frac{W}{1000G}$$

$$(V = 1 - \frac{W}{62.4G}) \text{ expresado en forma decimal.}$$

W = peso unitario en estado suelto del agregado de recubrimiento, kg/m³ (lb/pies³), AASHTO Method T19 (ASTM Method C29).

G = Peso específico bruto del agregado de recubrimiento, Método AASHTO T85 (Método ASTM C127).

H = promedio de la menor dimensión (PMD) del agregado de recubrimiento, mm (plg.), (Apéndice D, MS-19, The Asphalt Institute)

E = Factor de merma para cubrir la pérdida de agregados, debida a descubrimientos por descarga rápida y desuniformidad en la distribución, Tabla 1.

M = factor de evaluación, que debe ser determinado a través de la experiencia, las condiciones locales de clima, tránsito, agregado pétreo, etc., que puede tener un valor mayor o menor que 1,0 que es su valor normal.

La cantidad unitaria de asfalto a ser aplicado se calcula mediante la fórmula siguiente:

Sistema métrico

Unidades usuales norteamericanas

$$B = K \left[\frac{0.40 HTV + S + A}{R} \right]$$

$$B = K \left[\frac{2.244 HTV + S + A}{R} \right]$$

donde:

B = aplicación de asfalto, lts/m² (gal/yd²)

H = promedio de la menor dimensión del agregado, mm (plg.), (Apéndice D), MS-19, The Asphalt Institute

T = factor de tránsito (Tabla 2)

V = vacíos en el agregado de recubrimiento, en estado suelto (ver la ecuación anterior para aplicaciones de agregados), expresado en forma decimal.

S = corrección, lts/m² (gal/yd²), por textura superficial de la calzada sobre la cual se ejecutará el tratamiento

Textura	Corrección, S	
	gal/yd ²	lts/m ²
Superficie asfáltica, negra, exudada	(-0.01 to -0.06)	-0.04 to -0.27
Lisa, no porosa	(0.00)	0.00
Absorbente — levemente porosa, oxidada	(+ 0.03)	+ 0.14
— levemente disgregada, oxidada, porosa	(+ 0.06)	+ 0.27
— muy disgregada, oxidada, porosa	(+ 0.09)	+ 0.40

A = corrección, Its/m^2 (gal/yd^2) por absorción de asfalto en los agregados (despreciarlo salvo para piedras porosas).

R = asfalto residual expresado en forma decimal. Los valores típicos son:

<i>Emulsiones asfálticas</i>	<i>R</i>
RS-1	0.55
RS-2	0.63
CRS-1	0.60
CRS-2	0.65
MS-1	0.55
HFMS-1	0.55

K = factor de evaluación que debe ser establecido en base a la experiencia, condiciones locales de clima, tránsito, agregado pétreo, etc. y que puede ser mayor o menor que 1,0 que es su valor normal. Por ejemplo la experiencia ha demostrado que para el uso de emulsiones en áreas muy frías, K puede tener un valor aproximado de 1,2.

Ejemplo: En un tratamiento superficial con emulsión asfáltica CRS-2, sobre un pavimento levemente poroso, debe emplearse como agregado un granito triturado de tamaño nominal N°7. Determinar las cantidades que deben ser aplicadas. El tránsito estimado es de 800 veh/día.

- Tamaño medio del agregado = 10mm (0,40 plg.)
- Promedio de la menor dimensión, H = 7,4mm (0,29 plg.)
- Peso unitario del agregado suelto, W = 1538 kg/m^3 (96 lb/pies^3)
- Peso específico bruto, G = 2,65, Método AASHTO T85

$$\text{- Vacíos del agregado pétreo, } V = 1 - \frac{1538}{1000 \times 2.65} = 1 - 0.58 = 0.42$$

$$\text{o en unidades U.S. } V = 1 - \frac{96}{62.4 \times 2.65} = 1 - 0.58 = 0.42$$

- Factor de merma, E = 1,04, Tabla 1
- Factor de tránsito, T = 0,70, Tabla 2
- Corrección por textura, S = 0,13 Its/m^2 (gal/yd^2)
- Corrección por absorción del agregado, A = 0.00
- Asfalto residual, R = 0,65 (CRS-2)
- Factor de evaluación "M" = 1,0

$$B = K \left[\frac{0.40 \text{ HTV} + S + A}{R} \right]$$

o en unidades U.S. $B = K \left[\frac{2.244 \text{ HTV} + S + A}{R} \right]$

$$B = 1.0 \left[\frac{0.40 \times 7.4 \times 0.70 \times 0.42 + 0.13 + 0.00}{0.65} \right]$$

o en unidades U.S. $B = 1.0 \left[\frac{2.244 \times 0.29 \times 0.70 \times 0.42 + 0.13 + 0.00}{0.65} \right]$

$$B = 1.53 \text{ litro/m}^2 \text{ (0.34 gal/yd}^2\text{)}$$

Distribución del agregado pétreo

$$C = M [1 - 0.4 V] \text{ HGE}$$

o en unidades U.S. $C = M [46.8 (1 - 0.4 V) \text{ HGE}]$

$$C = 1.0 [(1 - 0.4 \times 0.42) \times 7.4 \times 2.65 \times 1.04]$$

o en unidades U.S. $C = 1.0 [46.8 (1 - 0.4 \times 0.42) \times 0.29 \times 2.65 \times 1.04]$

$$C = 16.9 \text{ kg/m}^2 \text{ (31.1 lb/yd}^2\text{)}$$

TABLA 1
FACTORES DE MERMA EN EL AGREGADO

Porcentaje de Merma * Admitido	Factor de Merma, E
1	1.01
2	1.02
3	1.03
4	1.04
5	1.05
6	1.06
7	1.07
8	1.08
9	1.09
10	1.10
11	1.11
12	1.12
13	1.13
14	1.14
15	1.15

*Debido a descarga rápida y manipuleo

TABLA 2
FACTORES DE TRANSITO PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Agregado	Factor de tráfico = Porcentaje (expresado en forma/decimal) del 20% de vacíos del agregado pétreo a ser llenado por el asfalto				
	Tránsito Veh/día				
	bajo 100	100 a 500	500 a 1,000	1,000 a 2,000	Más de 2,000
Tipo de agregado de reconocida calidad	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60

NOTA:

¹ Los factores anteriores no contemplan absorción por parte de la superficie del camino o por agregados porosos

² Los valores mostrados en la tabla fueron extraídos del "Seal Coat and Surface Treatment Design and Construction Using Asphalt Emulsions", por Norman W. McLeod January 1974.

358

PREPARACION PARA LA CONSTRUCCION

Estudio del Proyecto

Antes de comenzar cualquier trabajo, se realiza un examen completo de la superficie del camino para determinar las reparaciones necesarias y para evaluar requerimientos del tratamiento. Se registran las manchas blandas que puedan originar fallas futuras, como también variaciones en los anchos del camino, secciones transversales y perfiles longitudinales que perjudiquen el aspecto del mismo. Los defectos en los drenajes laterales son críticos. Si se va a reacondicionar una calzada vieja, deben ubicarse baches, áreas fisuradas, depresiones, áreas de exudación de asfalto o áreas pulidas, absorbentes y otros defectos superficiales.

Se realizarán las correcciones y reparaciones de manera tal que el camino esté en una buena condición antes de comenzar el tratamiento. Cuando se realizan reparaciones superficiales, tales como bacheos, se permitirá que transcurra un tiempo suficiente antes de comenzar el tratamiento superficial, para asegurar su consolidación bajo el tránsito.

Preparación de la superficie del camino

Cuando la calzada existente consiste en una base granular y las secciones transversales o el perfil longitudinal están fuera de forma, el camino debe escarificarse y agregársele nuevo material. Para evitar descascaramientos después de construido el tratamiento superficial, el nuevo material debe mezclarse con el material escarificado. Luego se lo compacta en capas de espesor no mayor de 150 mm (6 plg.). Todo material de áreas blandas debe ser completamente removido en el ancho necesario, añadiéndose nuevo material de base, que luego se compacta a una densidad equivalente a la de la base circundante. Se aplica luego un riego de imprimación.

Algunos pavimentos viejos no necesitan reparaciones antes de ser repavimentados. Otros exigen una completa escarificación y mezclado y recompactación con la remoción del material malo. En general la mayoría de los pavimentos necesitan algún bacheado y remoción del exceso de asfalto.

Cuando las reparaciones necesarias han sido hechas, la superficie debe ser limpiada inmediatamente antes de que el asfalto sea regado. Todo barro endurecido y otras materias extrañas deben ser removidas y las superficies completamente barridas con barredoras mecánicas.

Clima

El clima juega un papel importante en el éxito de los tratamientos superficiales. La mejor época del año para un programa de tratamientos superficiales es cuando las condiciones del tiempo tiendan a ser cálidas y secas durante y (por algunas semanas) después del tratamiento.

Muchas especificaciones requieren que la temperatura a la sombra sea por lo menos de 10°C (50°F) antes de que las operaciones comiencen. Algunas establecen que la temperatura de la superficie esté por encima de los 20°C (70°F) antes de que se inicie el trabajo. Independientemente de cuán caliente esté el asfalto cuando es regado se enfriará a la temperatura de la superficie del pavimento en un minuto o menos.

Los tratamientos superficiales no deberán comenzar a construirse nunca cuando la superficie está húmeda o cuando hay amenaza de lluvia. La combinación de agua, tratamiento superficial recién ejecutado y tránsito determina desprendimientos de partículas del agregado.

Equipos y Materiales

Antes de comenzar el trabajo, todo el equipo es examinado para asegurarse de que esté en buenas condiciones para el trabajo. El operador del distribuidor debe estar seguro que la barra distribuidora esté a la altura correcta sobre la superficie y que todos los picos o toberas estén colocados con inclinación adecuada, que estén limpios y que puedan trabajar libremente. El distribuidor de

agregados se verifica para ver si está trabajando adecuadamente.

La distribución de materiales debe ser coordinada de manera tal que no haya dilaciones después que comenzó el trabajo. Si la fuente de agregado no está cerca del área del proyecto, se debe disponer de un número suficiente de camiones para proveer en forma continua el material. En caso contrario, se acopiará anticipadamente suficiente agregado, para terminar la obra, cerca de la misma.

OPERACIONES EN UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Distribución del asfalto

Antes que comiencen las operaciones del tratamiento superficial, se debe colocar un cordel a lo largo del borde del camino para guiar al conductor del distribuidor. En calles urbanas las líneas de los cordones o de las cunetas pueden ser usadas como guías. Los operadores del distribuidor deben observar cuidadosamente esas líneas. Para proteger el cordón de las salpicaduras o de un desplazamiento indebido del riego, se utiliza papel de construcción o una pantalla deslizable.

La velocidad del distribuidor y la longitud del riego deben determinarse antes de comenzar la distribución. La velocidad se determina mediante las fórmulas:

Sistema métrico

Unidades U.S.

$$v = \frac{Q}{CWA}$$

$$v = \frac{9Q}{CWA} \quad (3)$$

donde

- v = velocidad del distribuidor, en m/min (pies/min)
- Q = caudal total de la barra distribuidora, en lts/min (gal/min.)
- W = ancho a regar, m (pies)
- A = aplicación unitaria, lts/m² (gal/yd²); y
- C = coeficiente de dilatación resultante del calentamiento del asfalto.

$$C = \frac{1}{M}$$

donde

M = factor de corrección para reducir el volumen del cemento asfáltico, a la temperatura de riego, al volumen de medición, a 15,6°C (60°F).

Este factor se obtiene de las tablas temperatura-volumen

TEMA H TRATAMIENTOS SUPERFICIALES Y RIEGOS DE SELLADO *Lección 2 Pág. H25*

La longitud de distribución se determina antes de iniciarse cada aplicación de asfalto. Depende principalmente del número de camiones cargados con agregados que se tengan a mano cuando comienzan las operaciones. No se aplica más asfalto que el que pueda ser cubierto con agregados en menos de un minuto. La longitud de distribución se calcula por medio de la fórmula:

Sistema métrico

$$L = \frac{V}{WA}$$

Unidades U.S.

$$L = \frac{9V}{WA} \quad (5)$$

donde

- L = longitud de distribución, mts (pies)
- V = Total de Lts. (galones) a ser aplicados
- W = ancho de distribución, mts (pies); y
- A = aplicación unitaria, lts/m² (gal/yd²)

El número de litros (galones) regados está limitado por la capacidad del tanque; pero, atendiendo al número de camiones que se tenga a mano, el número de lts. (gal.), V, puede obtenerse por la fórmula:

$$V = \frac{AW_a}{S} \quad (6)$$

donde

- W_a = peso del agregado que se tenga a mano, kilogramos (libras)
- S = distribución unitaria de agregado, kg/m² (lb/yd²)
- A = aplicación unitaria, lts/m² (gal/yd²)

El asfalto debe estar a la temperatura necesaria para lograr la viscosidad de riego. Si esto ocurre, la aplicación de la cantidad unitaria correcta no ofrece problemas. El conductor simplemente mantiene la velocidad predeterminada, marcada por la aguja fija en el velocímetro especial (bitumeter).

Después de cada riego se verifica la cantidad unitaria de asfalto aplicado. Esto se realiza rápida y fácilmente calculando los l/m² (gal/yd²) aplicados usando la fórmula:

Sistema métrico

$$A_1 = \frac{TM}{WL}$$

Unidades U.S.

$$A_1 = \frac{9TM}{WL} \quad (7)$$

donde

- A₁ = aplicación unitaria real a 15,6°C (60°F)
- T = total de lts. regados por el distribuidor a la temperatura de aplicación igual a la cantidad de litros correspondientes a la lectura de la varilla indicadora antes de las distribución, menos la cantidad de litros que corresponden a la lectura después de la distribución
- M = factor de corrección del volumen asfáltico a temperatura de riego con respecto al volumen a 15,6°C (60°F), obtenido en las tablas temperatura-volumen
- W = ancho de la barra distribuidora, mts (pies)
- L = longitud de riego, mts (pies)

Juntas Transversales

Juntas transversales rugosas y antiestéticas pueden ser evitadas comenzando y terminando la distribución asfáltica y de agregados en un papel de construcción. El papel se coloca transversalmente a la calzada a ser tratada de manera tal que el borde delantero coincida con la localización de la junta. El distribuidor, desplazándose a la velocidad correspondiente a la aplicación unitaria de asfalto deseada, inicia el riego sobre el papel, para que la barra distribuidora permita una aplicación uniforme cuando alcance la superficie expuesta al riego. Una segunda franja de papel se coloca transversalmente también, en correspondencia de la línea predeterminada donde deberá interrumpirse la distribución. Este método permite la obtención de juntas transversales derechas, perfectamente definidas. Después que el distribuidor de agregados ha pasado sobre el papel, se lo remueve y elimina.

Para la nueva aplicación, el borde delantero del papel se coloca a unos 13 mm (1/2 pulg.) del corte del tratamiento previamente ejecutado. Esto previene una separación entre las dos distribuciones.

Juntas Longitudinales

Las aplicaciones de asfalto y distribuciones de agregado en todo el ancho de la calzada eliminan las juntas longitudinales.

No obstante, en la ejecución de muchos tratamientos superficiales las juntas longitudinales son inevitables, porque no se puede interrumpir el tránsito, por lo menos en una trocha.

Para prevenir el refuerzo del agregado en las juntas longitudinales, el borde de la distribución del agregado deberá coincidir con el borde del asfalto aplicado en su espesor total*. Esto permite que la franja de asfalto desuniformemente regado, salpicado, con espesor parcial** pueda, ser solapada cuando se aplique el asfalto en la trocha adyacente. El espesor parcial se debe a que el sector exterior del abanico de riego del último pico o tobera no está cubierto, o solo, lo está en forma parcial, por la pantalla asfáltica del pico anterior. Entonces, cuando el agregado es distribuido en el ancho total de la trocha adyacente, el asfalto en la franja mencionada ya ha sido completado. El ancho de esta franja de asfalto parcialmente regada, que se deja expuesta, y luego se completa con el riego asfáltico adyacente, depende de la separación entre los picos y si la altura de la barra de distribución permite una cobertura doble o triple.

De ser posible, la junta longitudinal deberá coincidir con la línea central del pavimento que se está tratando. Una línea establecida asegura una junta longitudinal derecha.

Distribución del Agregado Pétreo

Todo el agregado necesario para la distribución planeada debe estar a mano antes del comienzo. Cuando el distribuidor se mueve hacia adelante para regar el asfalto el distribuidor de agregado deberá seguirlo inmediatamente después. El asfalto debe ser cubierto en no más de un minuto. De otra forma, el incremento de viscosidad que tiene lugar dentro de ese tiempo puede entorpecer el buen mojado y la liga del agregado. Es importante también que el agregado sea distribuido uniformemente en la cantidad especificada. En un tratamiento simple, normalmente no se adhiere más de una partícula del agregado por cada lugar cubierto por el asfalto, de manera tal que es ineficaz y resulta un mal gasto distribuir una cantidad mayor de agregado que la que corresponde a una capa simple del mismo.

Es posible realizar un excelente trabajo con los distribuidores mecánicos. Si se utiliza un velocímetro para mantener la velocidad uniforme, se puede asegurar una distribución unitaria constante de agregado. Otra manera de verificar la distribución, es la demarcación de la longitud que cada camión de agregado debe cubrir.

Si se coloca un exceso de agregado en algunas áreas, se lo debe remover de inmediato con palas cuadradas. En áreas donde la distribución es insuficiente, se agregará el agregado faltante. Con distribuidores de agregados apropiadamente calibrados y operados, sin embargo, no es necesario recurrir a trabajos manuales.

* Borde asfáltico neto hasta donde la aplicación unitaria es total, no un borde salpicado (N. del T.).

** No cubierta totalmente con asfalto (N. del T.).

Rodillado

El rodillado asienta el agregado sobre el asfalto y de esta manera promueve la trabazón necesaria entre sus partículas para resistir las tensiones provocadas por el tránsito.

Los rodillos neumáticos múltiples se deben usar en todos los trabajos de tratamientos superficiales. Los rodillos con ruedas de acero han sido usados con éxito, pero compactan solamente las zonas altas. En cambio los rodillos neumáticos ejercen una presión uniforme en toda el área. Se deben usar dos rodillos autopropulsados por cada distribuidor de agregados.

El pasaje de los rodillos neumáticos comienza inmediatamente después que el agregado pétreo ha sido distribuido y continua hasta que el agregado esté bien asentado en el ligante. Tan pronto como el asfalto haya endurecido el rodillado se suprime para evitar que se rompa la adherencia entre las partículas y el ligante como consecuencia de su acción. El rodillado comienza en el borde exterior del tratamiento y se lleva a cabo en dirección longitudinal, avanzando hacia el centro del camino en cada pasada. Entre ellas debe haber una superposición de medio ancho de las ruedas frontales.

Agregado en Exceso

A pesar de las precauciones, generalmente hay partículas pétreas en la superficie del camino después del rodillado. Antes de que la trocha adyacente sea cubierta con asfalto, se barrerá el agregado desprendido que se encuentra sobre la junta longitudinal y si es necesario, sobre el resto de la trocha adyacente aún no regada.

El agregado que se desprende generalmente es levantado por los neumáticos de los vehículos que circulan rápidamente y arrojados contra los que lo siguen, dañando las luces delanteras, los parabrisas y el acabado de la pintura superficial. El agregado desprendido puede removerse por un liviano barrido con escobas rotativas mecánicas durante el fresco de las primeras horas del día y después que se haya producido el endurecimiento del asfalto.

Regulación del Tránsito

La inspección del tránsito es importante para trabajos de alta calidad y debe ser realizada a lo largo de todo el trabajo. Un tránsito de circulación rápida sobre un tratamiento superficial reciente produce el desplazamiento del agregado y ocasiona una superficie exudada y resbaladiza. El tránsito debe ser desviado o permitido sólo en las trochas que no están en construcción. Cuando el trabajo se ha completado y se ha producido el curado inicial del asfalto, el tránsito es aún mantenido a velocidades menores de 32km/h (20 millas/hora) hasta que el mismo haya desarrollado finalmente todas sus propiedades ligantes. El tiempo hasta esta condición varía con el clima. El tránsito debe ser regulado de una manera tal que provea la máxima seguridad a los trabajadores y la menor interrupción posible al trabajo. Medios seguros y eficientes de cumplir con este propósito son las señales de advertencias, las portabanderas y un camión piloto que guie a los vehículos que atraviesan el área de trabajo.

La regulación del tránsito se extiende además a los equipos de transporte de materiales. Los camiones que acarrear agregados son conducidos hasta los distribuidores en dirección opuesta a la de progresión de las operaciones del tratamiento superficial. Esto evita que los camiones giren sobre el tratamiento recién construido. Todos los camiones están obligados a girar en un lugar determinado lejos del trabajo.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES MULTIPLES

Descripción

Un tratamiento superficial múltiple puede consistir en una serie de tratamientos superficiales simples con agregados de igual tamaño en cada capa. Generalmente está compuesto por capas múltiples de agregados donde cada capa consta de agregados de tamaño mitad del utilizado en la capa anterior. Es común un tratamiento superficial doble.

En los casos de tratamientos superficiales dobles, la segunda capa sirve para llenar parcialmente los vacíos superficiales de los agregados de la primer capa. La proporción en la cual se llenan estos vacíos superficiales determina la textura del tratamiento.

Fórmulas de Diseño

Existen varios métodos de diseño para tratamientos superficiales múltiples. En el método que aquí se describe cada capa se diseña como si fuera un tratamiento superficial simple. En cada capa sucesiva, el tamaño máximo nominal del agregado no deberá ser mayor que la mitad del tamaño de la capa previamente ejecutada. No se admiten pérdidas. Además, después de la primer capa, no se permite corrección por textura superficial de la capa subyacente.

Después de haberse determinado la cantidad de emulsión asfáltica para cada capa, se obtiene la cantidad total. Tratándose de tratamientos superficiales dobles, se usa el 40% del total de emulsión asfáltica para la primera aplicación y el 60% para la segunda. Para un tratamiento superficial triple, la cantidad total deberá ser repartida en un 30%, 40% y 30%.

Las cantidades de asfalto y agregado determinadas en base a los conceptos anteriores satisfacen la mayoría de las condiciones de campaña. Como se indicaron anteriormente por medio de los factores de evaluación "M" y "K", pueden existir oportunidades, donde deban hacerse ajustes, aumentando o disminuyendo cantidades, debido al clima, tránsito, agregado pétreo, y otras condiciones.

En los tratamientos superficiales múltiples, la primer capa de agregados generalmente determina el espesor. Las capas subsiguientes llenan los vacíos superficiales de las capas previamente distribuidas.

El siguiente es un ejemplo de diseño de tratamiento superficial doble que será construido al comienzo del verano:

Primera capa

- Piedra calcárea triturada, tamaño nominal N°6
- Tamaño medio del agregado = 15mm (0,59 plg.)
- Promedio de la menor dimensión, H = 10,1mm (0,40 plg.) Apéndice D, A *Basic Asphalt Emulsion Manual*, MS-19, The Asphalt Institute
- Peso unitario del agregado en estado suelto, W = 1506 Kg/m³ (94 lb/pie³).
- Peso específico bruto (Bulk specific gravity), G = 2,60, Método AASHTO T 85

$$\text{— Vacíos en el agregado pétreo, } V = 1 - \frac{1506}{1000 \times 2.60} = 0.42$$

$$\text{en unidades U.S. (} V = 1 - \frac{94}{62.4 \times 2.60} = 0.42)$$

- Factor de tránsito, $T = 0.65$, Table 2 (para 1500 vpd)
- Corrección por textura, $S = 0.13$ lts / m² (0.03 gal/yd²)
- Factor de merma, $E = 1.00$
- Corrección por absorción del agregado, $A = 0.00$
- Asfalto Residual, $R = 0.60$ (CRS-1)
- Factor de evaluación, $M = 1.0$
- Factor de evaluación, $K = 1.0$

Aplicación de emulsión asfáltica

<i>Sistema métrico</i>	<i>Unidades U.S.</i>
$B = K \left[\frac{0.40 \text{ HTV} + S + A}{R} \right]$	$B = K \left[\frac{2.244 \text{ HTV} + S + A}{R} \right]$
$B = 1.0 \left[\frac{0.40 \times 10.1 \times 0.65 \times 0.42 \times + 0.13 + 0.00}{0.60} \right]$	
o en unidades U.S.	
	$B = 1.0 \left[\frac{2.244 \times 0.40 \times 0.65 \times 0.42 \times + 0.13 + 0.00}{0.60} \right]$
$B = 2.1$ lts / m ² (0.46 gal/yd ²)	

Distribución de agregado pétreo

<i>Sistema métrico</i>	<i>Unidades U.S.</i>
$C = M [(1 - 0.4V) HGE]$	$C = M [46.8 (1 - 0.4V) HGE]$
$C = 1.0 [(1 - 0.4 \times 0.42) 10.1 \times 2.60 \times 1.00]$	
o en unidades U.S.	
	$C = 1.0 [46.8 (1 - 0.4 \times 0.42) 0.40 \times 2.60 \times 1.00]$
$C = 22$ kg/m ² (40.5 lb/yd ²)	

Segunda Capa

- Piedra calcárea triturada, tamaño nominal N^o8
- Tamaño medio del agregado = 6,35mm (0,25 plg).
- Promedio de la menor dimensión, $H = 4,6$ mm (0,18 plg), Apéndice D, *A Basic Asphalt Emulsion Manual*, MS-19, The Asphalt Institute.
- Peso unitario del agregado en estado suelto, $W = 1522$ kg/m³ (95 lb/pie³)
- Peso específico bruto (Bulk specific gravity), $G = 2,60$, Método AASHTO T 85

- Vacíos del agregado pétreo, $V = 1 - \frac{1522}{1000 \times 2.60} = 0.41$

o en unidades U.S. ($V = 1 - \frac{95}{62.4 \times 2.60} = 0.41$)

- Factor de tránsito, T = 0,65, Tabla 2 (para 1500 veh/día)
- Corrección por textura, S = 0
- Factor de merma, E = 1,00
- Corrección por absorción del agregado, A = 0
- Asfalto residual, R = 0,60 (CRS-1)
- Factor de evaluación, M = 1,0
- Factor de evaluación, K = 1,0

Aplicación de emulsión asfáltica

$$\begin{aligned}
 & \text{Sistema métrico} & \text{Unidades U.S.} \\
 B = K & \left[\frac{0.40 \text{ HTV} + S + A}{R} \right] & B = K \left[\frac{2.244 \text{ HTV} + S + A}{R} \right] \\
 \text{o en unidades U.S. } B = 1.0 & \left[\frac{0.40 \times 4.6 \times 0.65 \times 0.41 + 0 + 0}{0.60} \right] & \\
 B = 1.0 & \left[\frac{2.244 \times 0.18 \times 0.65 \times 0.41 + 0 + 0}{0.60} \right] & \\
 B = 0.82 \text{ lts / m}^2 & (0.18 \text{ gal/ yd}^2) &
 \end{aligned}$$

Distribución de agregado pétreo

$$\begin{aligned}
 C &= [(1 - 0.4 V) \text{ HGE}] \\
 \text{o en unidades U.S. } C &= M [46.8 (1 - 0.4 V) \text{ HGE}] \\
 C &= 1.0 [(1 - 0.4 \times 0.41) 4.6 \times 2.60 \times 1.00] \\
 \text{o en unidades U.S. } C &= 1.0 [46.8 (1 - 0.4 \times 0.41) 0.18 \times 2.60 \times 1.00] \\
 C &= 10 \text{ kg/ m}^2 (18.3 \text{ lb/ yd}^2)
 \end{aligned}$$

La cantidad total de emulsión asfáltica para ambas capas es 2,1 + 0,82 = 2,93 lts/m² (0,46 + 0,18 = 0,64 gal/ yd²). Por lo tanto las cantidades de emulsión asfáltica y agregados pétreos a ser distribuidos en el tratamiento superficial doble son:

	CRS-2	Agregado Pétreo
Primera aplicación	0.4 × 2.93 = 1.05 litros/ m ²	22 kg/ m ²
o en unidades U.S.	0.4 × 0.64 = 0.26 gal/ yd ²	40.5 lb/ yd ²
Segunda aplicación	0.6 × 2.93 = 1.76 litros/ m ²	10 kg/ m ²
o en unidades U.S.	0.6 × 0.64 = 0.38 gal/ yd ²	18.3 lb/ yd ²

Procedimientos de Construcción

Los procedimientos de construcción para un tratamiento superficial múltiple son esencialmente aquéllos usados para tratamientos superficiales simples, excepto que el proceso se repite dos o tres veces. El procedimiento para un tratamiento superficial doble consiste en los siguientes pasos:

1. Preparación de la superficie
2. Primer aplicación de material asfáltico
3. Distribución del agregado pétreo grueso
4. Rodillado del agregado pétreo grueso
5. Segunda aplicación de material asfáltico
6. Distribución del agregado pétreo fino
7. Rodillado del agregado pétreo fino
8. Barrido del agregado pétreo en exceso

Debe permitirse el curado del material asfáltico entre cada paso del tratamiento. Es decir que el asfalto de la primer aplicación debe haber curado completamente antes de procederse a ejecutar la segunda aplicación (paso 5). Tratándose de un tratamiento triple, se repiten los pasos 5, 6 y 7 en la tercer capa.

368

LECCION 3

RIEGOS ASFALTICOS DE SELLADO Y OTROS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Objetivo: Describir otros tipos de sellado asfáltico y tratamientos superficiales y explicar su diseño y construcción.

INTRODUCCION	H35
Descripciones	H35
Selección del asfalto	H35
TRATAMIENTOS DE APLICACION ASFALTICA UNICA	H36
Riego de imprimación	H36
Riego paliativo de polvo	H36
Road Oiling	H37
Riego de liga	H37
Riego pulverizado (Fog Seal)	H37
SELLADOS CON LECHADA ASFALTICA	H38
Descripcion	H38
Equipos para la preparación de lechadas asfálticas	H38
Preparación del camino	H40
Materiales	H40
Diseño de la mezcla	H40
Preparación de la mezcla	H41
Colocación de la mezcla	H41
Librado al tránsito	H41
Regulación del tránsito	H41

17 370

LECCION 3

RIEGOS ASFALTICOS DE SELLADO Y OTROS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

INTRODUCCION

Descripciones

Como se dijera previamente, todos los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de la superficie del camino, pero cada tipo cumple uno o más propósitos especiales. Los tratamientos superficiales que restan por tratar consisten esencialmente en una única aplicación de material asfáltico, lechadas asfálticas con emulsión, y tratamientos consistentes en mezclas asfálticas para pavimentar de espesor menor de 25 mm (1 plg.)

Selección del Asfalto

La tabla 1 sugiere materiales asfálticos para usar en varios tipos de tratamientos superficiales de sellado. Se incluyen también tratamientos superficiales con agregados pétreos de recubrimiento (que ya han sido discutido).

TABLA 1 TIPOS DE ASFALTOS PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Tipos de construcción	Cementos Asfálticos		Asfaltos Emulsificados y Diluidos															
	AC-2.5 ¹	AC-5 ¹	Emulsificado (Aniónica)						Emulsificado (Catiónica)				Curado Medio (MC)			Curado Lento (SC)		
			RS-1	RS-2	MS-1	HFMS-1	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CSS-1	CSS-1h	30	70	250	70	250	
Tratamientos superficiales con agregados de recubrimiento	X	X	X	X	X	X			X	X								
Riegos de sellado	X	X	X	X	X	X			X	X								
Lechada asfáltica							X	X			X	X						
Riego pulverizador					X ¹	X ¹	X ¹	X ¹				X ¹						
Riego de liga					X ¹	X ¹	X ¹	X ¹			X ¹	X ¹						
Riego de imprimación							X ²	X ²			X ²	X ²	X	X	X			
Riego paliativo de polvo							X ¹	X ¹			X ¹	X ¹	X	X	X	X	X	X

¹ Diluido en agua

² Mezclado en imprimación solamente

³ AR-1000 o 200/300 pen.

⁴ AR-2000 o 120/150 pen.

⁵ SMS-2 o CMS-2 pueden usarse también

TRATAMIENTOS DE APLICACION ASFALTICA UNICA

Los tratamientos de aplicación asfáltica única no tienen agregados de recubrimiento. Ellos son: (a) Riego de imprimación; (b) Riego paliativo de polvo; (c) Road Oiling; (d) Riego de liga y (e) Riego pulverizado. (Fog Seal).

Riego de Imprimación

Un riego de imprimación es una aplicación inicial de emulsión asfáltica de baja viscosidad o asfalto diluido (cut back), a una superficie absorbente. Se usa en la preparación de una base no tratada para recibir un riego asfáltico ligante modificándola y confiriéndole:

1. Impermeabilidad a su superficie
2. Reduciendo sus vacíos capilares
3. Revistiendo y trabando las partículas minerales sueltas
4. Reforzando o endureciendo la superficie; y
5. Promoviendo la adhesión entre la base y la capa superficial asfáltica o tratamiento superficial.

La base no tratada debe estar adecuadamente perfilada y compactada. El material suelto debe ser barrido de la superficie, la que debe estar seca o levemente húmeda.

Los asfaltos usados normalmente para imprimación son: MC-30, y MC-70. Sin embargo, en algunas superficies con mala trabazón de sus partículas y textura abierta puede emplearse MC-250. La aplicación unitaria ideal es la cantidad que absorberá completamente una base en un período de 24 hs. En general esta cantidad está entre 0,90 y 2,25 l/m² (0,20 y 0,50 gal/yd²).

Los asfaltos emulsificados de rotura lenta pueden ser usados para una imprimación tipo mezcla.

La cantidad de emulsión a ser usada depende de la naturaleza de la base granular y de las condiciones del tiempo. La granulometría del agregado, tamaño de los vacíos y adsorción del mismo afectan dicha cantidad. Generalmente se mezclan, con este propósito los 25mm (1 plg.) superiores de la base suelta con una cantidad de emulsión entre 0,3 y 0,9 l/m² (0,1 a 0,3 gal/yd²). Si se encuentra un exceso de residuo asfáltico en la superficie cuando ha roto la emulsión, se espolvorea arena ligeramente para absorber el material sobrante.

De la misma manera que para tratamientos superficiales simples y múltiples, se debe colocar papel de construcción al comienzo y al final de cada tramo de imprimación construida.

En todas las áreas donde el imprimador asfáltico no ha sido completamente absorbido por la base 24 hs. después de regado, se debe distribuir arena suficiente con un distribuidor mecánico para secar el exceso de asfalto y prevenir su posterior levantamiento bajo el tránsito. Toda arena suelta sobre la base debe ser barrida antes de que se apliquen riegos asfálticos adicionales sobre la superficie imprimada.

La temperatura del aire a la sombra para la ejecución de una imprimación debe estar por encima de 10°C (50°F). Esta es una exigencia básica para la mayoría de los tratamientos de aplicación asfáltica única.

Riego paliativo de polvo

El riego paliativo de polvo consiste en la distribución de una emulsión asfáltica de rotura lenta o un asfalto diluido de baja viscosidad (cut back), sobre una superficie no tratada. El asfalto y el diluyente penetran y cubren las partículas finas, mitigando temporariamente las molestias ocasionadas por el polvo.

El asfalto diluido (cut back) se riega usualmente a razón de 0,45 a 2,25 l/m² (0,1 a 0,5 gal/yd²). Cuando se emplea emulsión, se la debe diluir con agua en cinco o más partes, en volumen. El riego paliativo de polvo con emulsión diluida requiere generalmente varias aplicaciones. El polvo removido por el tránsito entre aplicaciones eventualmente se conglera y no se levanta más. Este es un tratamiento efectivo en áreas de mucho polvo donde la aplicación de un asfalto diluido no es suficiente.

Road oiling

El road oiling difiere del riego paliativo de polvo en que usualmente se lo realiza como parte de un programa de construcción de caminos de bajo costo a realizarse en varios años. Cada aplicación puede ser mecánicamente mezclada con el material que está siendo tratado, o dejarla que penetre sin mezclar. Los aceites livianos del road oiling* penetran en la subrasante y tienden a repeler la absorción de humedad. El objetivo de este tipo de riego es lograr una subrasante fuerte que no se sature con agua y pueda servir a su vez como superficie de rodamiento firme y libre de polvo.

Debido a que los suelos varían ampliamente, los procedimientos para el road oiling son cuestión de experiencias y ensayos de prueba locales, más que el resultado de un análisis científico. La cantidad de road oil requerido en el primer año de trabajo puede variar de 3,4 a 4,5 lts/m² (0,75 a 1,0 gal/yd²). Esta cantidad debe ser aplicada en tres veces. La primera a razón de aproximadamente la mitad del total; las siguientes en partes iguales.

Los tratamientos road oiling deben ejecutarse dejando transcurrir varias semanas entre ellos.

Si se produce algún descascaramiento después del primer invierno, una ligera escarificación y un retratamiento en el segundo año permitirá obtener una capa de rodamiento de mayor espesor y resistencia.

Riego de liga

El riego de liga es una aplicación ligera de emulsión asfáltica sobre un pavimento existente, para asegurar la adherencia entre la superficie asfáltica vieja y la nueva capa asfáltica que se le superpone. Dos características esenciales del riego de liga son: (a) debe ser muy delgado y (b) debe cubrir uniformemente el área entera a ser repavimentada.

Para cumplir este propósito la emulsión asfáltica es diluida en partes iguales con agua, lo que asegura un riego uniforme y ligero. Generalmente es suficiente para un riego de liga de 0,20 a 0,70 l/m² (0,05 a 0,15 gal/yd²) de emulsión asfáltica diluida (una de las del tipo SS).

El trabajo debe organizarse de manera tal que no se aplique el riego de liga a una superficie mayor que la que vaya a cubrirse con el trabajo del día. Debe evitarse el paso sobre el riego de liga de cualquier tránsito no esencial para la obra.

En los lugares que no pueden ser alcanzados por la barra de riego del distribuidor asfáltico será necesario aplicar el riego de liga con una manguera conectada al mismo. Cuando se realiza esta operación, deben tomarse las precauciones necesarias para que la aplicación de asfalto no sea excesiva.

Riego pulverizado (Fog Seal)

Un riego de este tipo consiste en una aplicación muy ligera de emulsión diluida de rotura lenta, preferentemente SS-1h o CSS-1h. Se emplean para renovar viejos pavimentos asfálticos y cerrar pequeñas grietas y huecos superficiales. Son especialmente útiles para pavimentos sometidos a un volumen de tránsito ligero. Este tipo de tratamiento también puede emplearse con el objeto de:

1. Sellar huecos superficiales de mezclas asfálticas nuevas hechas en planta; y
2. Evitar la producción de polvo en los tratamientos superficiales después de distribuido el agregado pétreo en zonas densamente pobladas, mejorando la retención de las partículas y dando al conjunto un color oscuro uniforme.

El asfalto emulsionado se diluye en igual cantidad de agua y distribuido en cantidad de 0,45 a 0,90 lts/m² (0,1 a 0,2 gal/yd²), dependiendo de la textura y sequedad del pavimento viejo. En condiciones normales la separación y evaporación del agua es rápida, permitiendo el tránsito en una o dos horas.

* material asfáltico similar a un asfalto diluido de curado lento (N. del T.)

SELLADOS CON LECHADA ASFALTICA

Descripción

El sellado con lechada asfáltica es una mezcla de agregado fino bien graduado, material de relleno (filler), en caso de ser necesario una emulsión asfáltica y agua distribuida sobre un pavimento como tratamiento superficial. Es usado en el mantenimiento correctivo y preventivo de calzadas asfálticas. No aumenta la resistencia estructural del pavimento y si el mismo presenta áreas localizadas estructuralmente débiles debe ser reparado antes de la aplicación de la lechada asfáltica. Todos los ahuellamientos, desuniformidades, hundimientos a lo largo de los bordes, deficiencias del abovedamiento, ondulaciones u otras irregularidades superficiales que disminuyen la transitabilidad del pavimento, deben ser corregidas antes de la lechada asfáltica.

Las lechadas asfálticas son realmente efectivas cuando se aplican a superficies de pavimentos viejos. Sellan las fisuras superficiales, detienen desprendimientos de agregados, impermeabilizan al agua y al aire las superficies de textura abierta y mejoran la resistencia al deslizamiento. Su oportuna aplicación ayuda a reducir los peligros causados por la oxidación del asfalto y el resquebrajamiento de la mezcla asfáltica del pavimento.

Equipo para la Preparación de Lechadas Asfálticas

La lechada se prepara en un camión que actúa como planta mezcladora móvil y se descarga dentro de una caja distribuidora remolcada por el mismo, que esparce el material por medio de una tira de goma adosada a su cara posterior, Figura 1. La máquina usada para producir la lechada es una unidad de flujo continuo. Permite alimentar con exactitud dentro del mezclador cantidades predeterminadas de agregado pétreo, material de relleno (filler) (si es necesario), agua y emulsión asfáltica. Además descarga los materiales totalmente mezclados sobre la superficie preparada. Ciertos aspectos básicos son comunes a todos los tipos de máquinas que preparan lechadas. Son unidades montadas sobre camiones con tanques de almacenamiento separados, tolvas, y sistemas de medición para la emulsión asfáltica, agua, agregados y material de relleno (filler). La máquina tiene una mezcladora de flujo continuo, de elementos agitadores simples o dobles, que descarga la mezcla en una caja extendedora. La caja está equipada con tiras de goma flexibles en su parte inferior y un dispositivo para ajustar el ancho. Las cajas distribuidoras pueden estar equipadas también con un sistema de barrenos movidos por un motor hidráulico para mantener la lechada en movimiento y uniformemente distribuido a través del ancho de la caja. Esto es muy útil cuando se utiliza una emulsión de rotura rápida (QS). Un tipo de máquinas para la preparación de lechadas asfálticas se muestra en forma esquemática en la Figura 2.

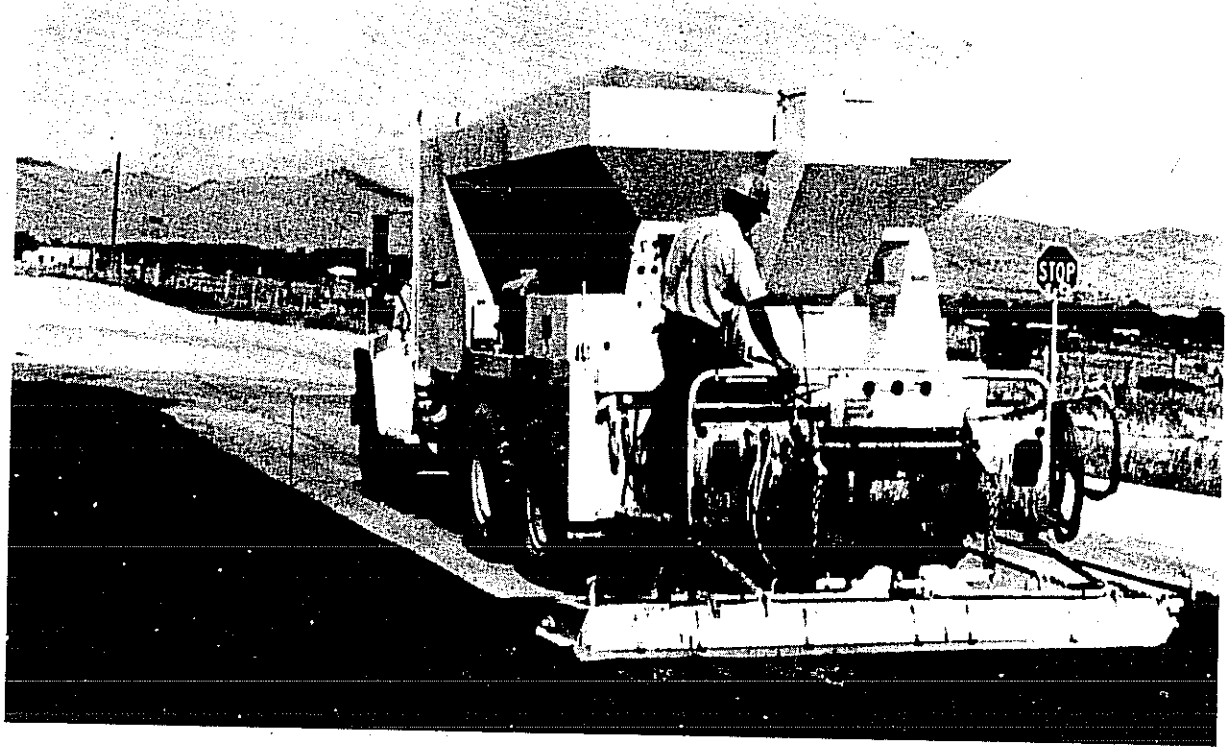


Figura 1. Equipo para la preparación de una lecha asfáltica
(Cortesía de Slurry Seal Incorporated)

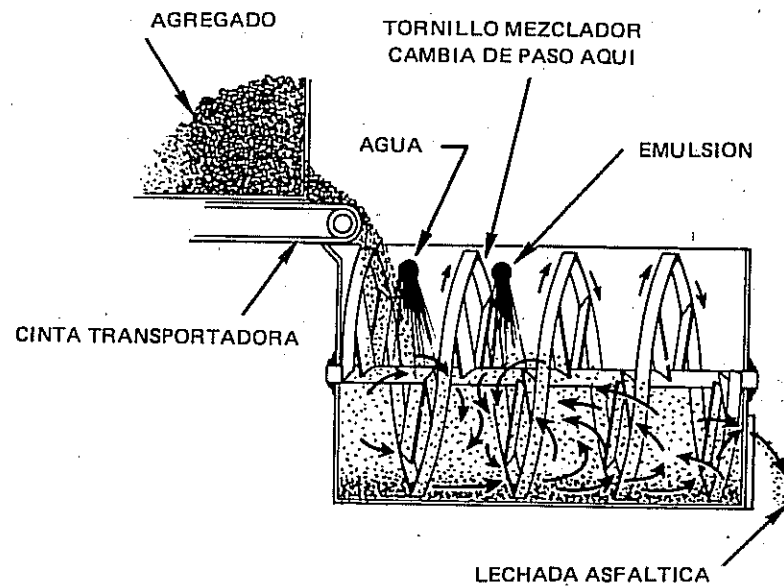


Figura 2.
Diagrama de flujo en una mezcladora de
lechada asfáltica

375

Preparación del camino

Antes de la colocación de la lechada asfáltica, se deben reparar todos los baches y áreas fuertemente distorsionadas. Esta precaución se tomará también con la superficie del pavimento que será limpiada totalmente, barrida y humedecida con una leve aplicación de agua (si es que la máquina elaboradora de lechada asfáltica no aplica una fina lluvia de agua en la parte frontal de la caja extendedora) para asegurar una distribución y adherencia adecuada. Una superficie seca y porosa puede requerir un riego de liga de 0,55 a 0,70 lts/m² (0,12 a 0,15 gal/yd²) para cumplir con el mismo propósito.

Materiales

La emulsión asfáltica para la lechada puede ser uno de los grados del tipo de rotura lenta. Es preferible usar agua blanda. Si el agua disponible es extremadamente dura, será necesario un ablandador.

El agregado debe ser arena angulosa y limpia y relleno mineral (filler), combinados para cumplir con una de las granulometrías dadas en la Tabla 2.

TABLA 2 GRANULOMETRIAS PARA LECHADAS ASFALTICAS*

Tipo de lechada	I	II	III
Uso general	Relleno de fisuras y sellado fino	Sellado general superficies de textura mediana	1º y/o 2º aplicación lechada de dos capas, superficies de gruesa textura
Tamaño del tamiz (standar U.S.A.)	Porcentaje que pasa		
12.5 mm (½ plg)		100	100
9.5 mm (¾ plg)		90-100	70-90
4.75 mm (No. 4)	100	65-90	45-70
2.36 mm (No. 8)	90-100	45-70	28-50
1.18 mm (No. 16)	65-90	30-50	19-34
600 µm (No. 30)	40-60	18-30	12-25
300 µm (No. 50)	25-42	10-21	7-18
150 µm (No. 100)	15-30	5-15	5-15
75 µm (No. 200)	10-20		
Contenido de asfalto residual, % en peso del agregado seco	10-16	7.5-13.5	6.5-12
Distribución unitaria kg/m ² (lb/yd ²) basados en peso del agregado seco	6-10(3-5.5)	10-15(5-5.8)	15(8) o más

* Recomendadas por International Slurry Seal Association

Diseño de la mezcla

Los agregados, la emulsión asfáltica y el agua deben formar una mezcla de consistencia cremosa que en la caja distribuidora, produzca una onda de aproximadamente 0,6 m (2 pies) por delante de su cara trasera provista de la tira de goma enrasadora. Esto permite a la lechada fluir dentro de las grietas y fisuras y sellarlas, antes de que pase la tira de goma mencionada por encima de ellas. Si la mezcla es muy rígida tendría la tendencia a apilarse inmediatamente por delante del enrasador, y en vez de llenar las grietas pasarlas por arriba.

En la mayoría de los casos se requiere 9,5 a 11,5 litros (2,5 a 3 gal) de emulsión asfáltica por cada 45,4 kg (100 libras) de agregados secos. Usualmente se le agrega agua al agregado antes de agregarle la emulsión. La cantidad de agua varia, pero está normalmente comprendida entre 1,9 y 5,7 litros por cada 45,4 kg (1/2 a 1,5 gal. por cada 100 libras) de agregado seco. Esto incluye la humedad que pueda ya estar presente en el agregado. Se deben hacer mezclas de prueba con los materiales a ser usados en el trabajo para poder verificar la consistencia y proporciones.

Preparación de la Mezcla

Es importante observar en forma constante y cuidadosa la provisión y adición de materiales y el mezclado de la lechada. Primero se vierte el agua en la mezcladora. Luego, con el mezclador en marcha, se añade el agregado en la proporción adecuada. Se agrega entonces el asfalto emulsionado. Todos los materiales deben ser alimentados en forma lenta y uniforme para prevenir los apelmamientos y la formación de terrones.

Después que todos los ingredientes han llegado al mezclador, se combinan hasta que el total de las partículas estén revestidas y la mezcla entera se haya uniformado. Se puede adicionar agua en la cantidad necesaria para llegar a la consistencia debida. Si el agregado está húmedo sólo puede agregarse una pequeña cantidad de agua antes de que ingrese todo el agregado.

Durante el proceso de mezclado, no deberá existir rotura o separación en el asfalto emulsionado, ni producirse apelmamiento ni terrones en el agregado. La lechada, lista para aplicar, deberá ser una mezcla totalmente uniforme, que fluya libremente. Si no se puede alcanzar la consistencia de fluencia libre sin segregación, puede añadirse cal hidratada o cemento portland en proporción de 0,5 a 1,0 por ciento en peso del agregado pétreo seco para producir una lechada homogénea. Si la rotura de la emulsión asfáltica ocurre durante la provisión y mezclado, la adición de agua no la corregirá.

Colocación de la Mezcla

La lechada se vuelca en la caja distribuidora a medida que la misma es arrastrada por el camión. En dicha caja y en su cara trasera y parte inferior se halla una tira de goma neoprene, del ancho de distribución deseada. Dispone, además, de secciones abisagradas ajustables, para distribuir mejor la lechada sobre la superficie. La cara enrasadora deberá tener ajustes verticales para adaptarse a las variaciones de bombeo en los pavimentos y para permitir obtención del espesor deseado con este tipo de tratamiento.

La lechada asfáltica se aplica en espesores promedios de 3 a 6 mm (1/8 a 1/4 plg.) dependiendo de las irregularidades de la superficie del pavimento. Si se desea un mayor espesor deberá ser colocado en dos capas delgadas, permitiéndose una adecuada rotura de la emulsión entre las aplicaciones.

Tratándose de áreas pequeñas, la lechada puede ser vertida en la superficie a ser tratada y extendida con rastrillos de mango largo cuyos dientes han sido reemplazados por una tira de goma.

Librado al tránsito

Se debe realizar el mayor esfuerzo posible para programar la construcción de un tratamiento tipo lechada asfáltica en tiempo favorable y en condiciones de sequedad. El tiempo requerido para dar al tránsito el mismo varía considerablemente, dependiendo de las condiciones ambientales, sequedad del tiempo y del espesor de la lechada. Bajo condiciones ideales, el tiempo para permitir el tránsito no debería ser mayor que unas pocas horas. Dicho tiempo puede ser regulado dependiendo del tipo y grado de la emulsión empleada.

Regulación del tránsito

No se debe permitir tránsito alguno hasta que la lechada asfáltica esté en una condición suficientemente firme como para impedir que la mezcla se levante. Normalmente no se requiere el paso de rodillos. Sin embargo, cuando se rellenan con lechada asfáltica superficies escamadas, se justificaría el paso de rodillos después que la lechada esté lo suficientemente firme.

TEMA I

SUELOS Y DRENAJES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS

Nota para el Instructor

Esta sección no es un curso de mecánica de suelos. Mas bién, para este punto, el estudiante debe haber tenido un curso o tener experiencia en dicho tema. Se analizan los métodos de clasificación y los ensayos de la subrasante utilizados en la evaluación de suelos de fundación para proyectos de carreteras y aeropuertos. El conocimiento de estos métodos de clasificación y ensayos de evaluación de resistencia, ayudan a que el técnico sea más valorado en la tecnología del asfalto.

Por lo dicho, se entiende que el drenaje es un aspecto importante para el diseño y construcción del pavimento asfáltico. El técnico en asfalto que conoce las razones del drenaje y los métodos para implementarlo, resulta indispensable para cualquier organización a la que brinde sus servicios.

BIBLIOGRAFIA

1. "Soils Manual", MS-10. The Asphalt Institute.
2. "Drainage of Asphalt Pavement Structures", MS-15. The Asphalt Institute.

LECCION 1

SISTEMAS DE CLASIFICACION DE LA SUBRASANTE

Objetivo: describir el sistema de clasificación de la subrasante utilizado en el diseño de pavimentos para carreteras y pistas de aeropuertos.

INTRODUCCION	I 5
Objetivo de la clasificación de la subrasante	I 5
Sistemas de clasificación	I 5
SISTEMA AASHTO DE CLASIFICACION	I 6
Generalidades	I 6
Clasificación	I 7
Método para clasificar	I 9
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS	I10
Generalidades	I10
Grupos de suelo	I11
Clasificación en campaña	I12
Clasificación en laboratorio	I13

LECCION 1

SISTEMAS DE CLASIFICACION DE LA SUBRASANTE

INTRODUCCION

Objetivo de la Clasificación de la Subrasante

El objetivo que lleva a la utilización de algún sistema de clasificación de suelos en la construcción de caminos y aeropuertos es el de poder predecir el comportamiento de un suelo dado, basándose en algunos ensayos simples realizados con muestras desmenuzadas. En base a los resultados obtenidos y su correlación con la experiencia en campaña, se lo identifica correctamente y se lo coloca en un grupo de suelos con características y propiedades similares.

El objetivo final del ingeniero no es el agrupamiento de suelos en algún sistema de clasificación. Es decir, no se debe considerar a la clasificación de un suelo como un fin en si mismo, sino como una herramienta para ampliar el conocimiento del movimiento y comportamiento del mismo.

Sistemas de clasificación

Se describirán dos sistemas de clasificación :

1. Sistema AASHTO para Clasificación de Suelos y
2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

En los Estados Unidos, el sistema que los Ingenieros de caminos usan más para clasificar suelos es el de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Originariamente el U.S. Bureau of Public Roads desarrolló este sistema, alrededor del año 1928. Fue revisado varias veces hasta 1942. En 1945 un comité de ingenieros de caminos del Highway Research Board hizo una revisión más profunda del mismo. Esta última versión constituye la base del actual sistema AASHTO.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se basa en el Sistema de Clasificación para Aeropuertos desarrollado por el Profesor A: Casagrande de la Universidad de Harvard, durante la Segunda Guerra Mundial. Este sistema, ligeramente modificado se convirtió en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos del Department of the Army y luego adoptado por el Bureau of Reclamation y el Department of Defense.

SISTEMA AASHTO DE CLASIFICACION

Generalidades

De acuerdo con el sistema AASHTO se agrupan los suelos que tienen aproximadamente las mismas características generales de capacidad de carga y de servicio, formando siete grupos básicos (A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7). En general, los mejores suelos para subrasante de carreteras están clasificados como A-1. Los más desfavorables se ordenan en forma creciente siendo el grupo A-7 el peor. El A-3 constituye una excepción. Los suelos clasificados como pertenecientes a este grupo son mejores subrasantes que los del grupo A-2. De esto se puede concluir, en forma general, que para ciertas condiciones dadas se debe incrementar progresivamente el espesor del pavimento sobre suelos clasificados desde A-1 hasta A-7, teniendo en cuenta la excepción ya aclarada.

El sistema que se usa corrientemente emplea los siete grupos básicos con algunos subdivididos, haciendo un total de 12 grupos y subgrupos (Tabla 1). Se utiliza un índice de grupo, no para ubicar un suelo en un grupo específico, sino para evaluarlo como material de subrasante dentro de un grupo. Este índice es función del límite líquido, del índice de plasticidad y de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (Nº200). Se lo puede calcular con :

**TABLA 1
CLASIFICACION DE SUELOS Y MEZCLAS SUELO-AGREGADO
(CON SUBGRUPOS)**

Clasificación general	Materiales granulares (35 % ó menos pasa tamiz 75 µ m)							Mat. limoarcillosos (más de 35 % pasa tamiz 75 µm)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5 A-7-6
Tamizado, porcentaje que pasa. 2.00 mm (No. 10) 425 µm (No. 40) 75 µm (No. 200)	50 max 30 max 15 max	— 50 max 25 max	— 51 min 10 max	— — 35 max	— — 35 max	— — 35 max	— — 35 max	— — 36 min	— — 36 min	— — 36 min	— — 36 min
Características fracción que pasa 425 µm (No. 40) Límite líquido Índice de plasticidad	— 6 max		— N.P.	40 max 10 max	41 max 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Material constituyente más común	Frag. roca grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas y limosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Comportamiento general como subrasante	Excelente a bueno							Regular a malo			

El índice plástico del subgrupo A-7-5 es igual o menor que (LL - 30). El de A-7-6 es mayor que (LL - 30) (ver Figura 2).

$$\text{Indice de Grupo IG} = (F - 35) \{0,2 + 0,005 (LL - 40)\} + 0,01 (F - 15) (IP - 10), \text{ en la cual}$$

F = porcentaje que pasa tamiz 75 μ m (N^o200), expresado como número entero. Este porcentaje se basa en el material que pasa el tamiz de 75 mm (3").

LL = Límite Líquido

IP = Índice plástico

Cuando el índice de grupo calculado es negativo, se lo pone como cero. El índice de grupo debe redondearse al número entero más próximo. Para determinarlo, también se puede usar un diagrama (Figura 1).

Clasificación

La clasificación de un suelo determinado se hace en base a los resultados de ensayos que se realizan siguiendo métodos normalizados, como lo son :

1. Análisis de tamizado de agregados fino y grueso (AASHTO T 27, ASTM C 136);
2. Análisis mecánico de suelos (AASHTO T 88, ASTM D 422);
3. Límite líquido de suelos (AASHTO T 89, ASTM D 423) y
4. Límite plástico e índice plástico de suelos (AASHTO T 90, ASTM D 424).

Luego de realizados los ensayos de laboratorio necesarios, se puede hacer la clasificación de un material dado, sin grandes dificultades. Sin embargo, la persona que la hace debe estar alerta con ciertas condiciones que se presentan con frecuencia en este sistema de clasificación. Además, es esencial entender algunas peculiaridades y características generales de comportamientos de los distintos tipos de suelo para su uso como materiales viales.

Según el sistema AASHTO, los suelos están divididos en dos grupos principales :materiales granulares con el 35 por ciento o menos que pasa el tamiz de 75 μ m (N^o200) y materiales limo-arcillosos con más del 35 por ciento pasando dicho tamiz. Además, en la descripción de un material se reconocen y usan frecuentemente las siguientes cinco fracciones de suelo.

1. Cantos rodados - material retenido en el tamiz de 75 mm (3"). Se los debe eliminar de la porción de muestra a clasificar pero se debe tener en cuenta su porcentaje.
2. Grava - material que pasa el tamiz de 75 mm (3") y es retenido en el de 2,00 mm (N^o10).
3. Arena gruesa - material que pasa el tamiz de 2,00 mm (N^o10) y es retenido en el de 425 μ m (N^o 40).
4. Arena fina - material que pasa el tamiz de 425 μ m (N^o40) y es retenido en el de 75 μ m (N^o200).
5. Limo y arcilla combinados - material que pasa el tamiz de 75 μ m (N^o200). Se aplica la palabra "limoso" al material fino con un índice plástico (IP) de 10 o menos; y el término "arcilloso", al material fino con un IP mayor que 10.

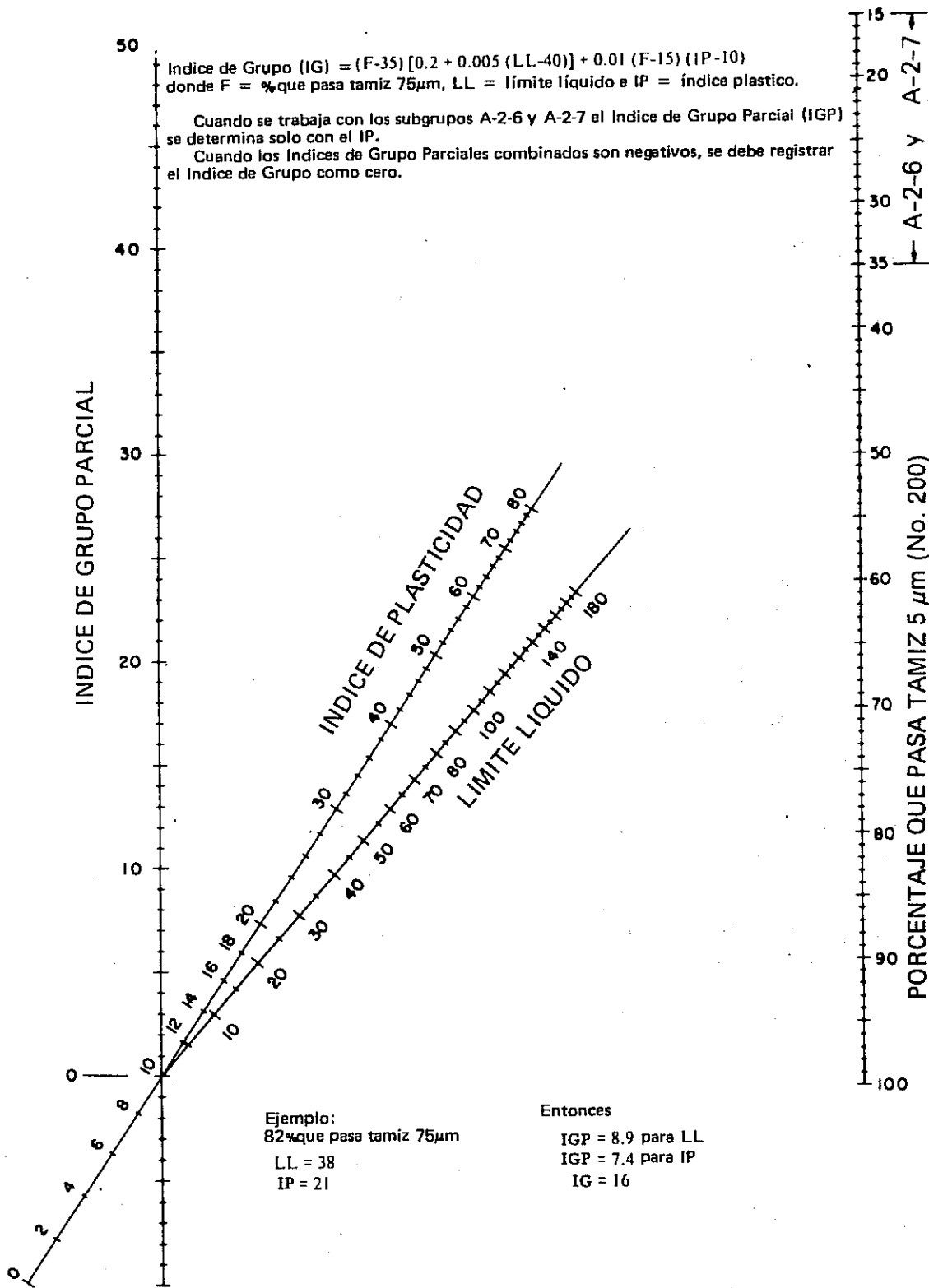


Figura 1. Diagrama de Índice de Grupo

Método para clasificar

La clasificación final del suelo se obtiene usando los resultados de los ensayos necesarios ya mencionados y determinando el índice de grupo. Con los datos de los ensayos se entra en la Tabla 1 de izquierda a derecha hasta encontrar por eliminación el grupo correcto. Con la Figura 2 se hace la clasificación de los suelos limo-arcillosos. Todos los valores de los ensayos de límites aparecen como números enteros. Si aparecen números fraccionarios en los informes de los ensayos, se los debe convertir al entero más cercano para clasificarlo.

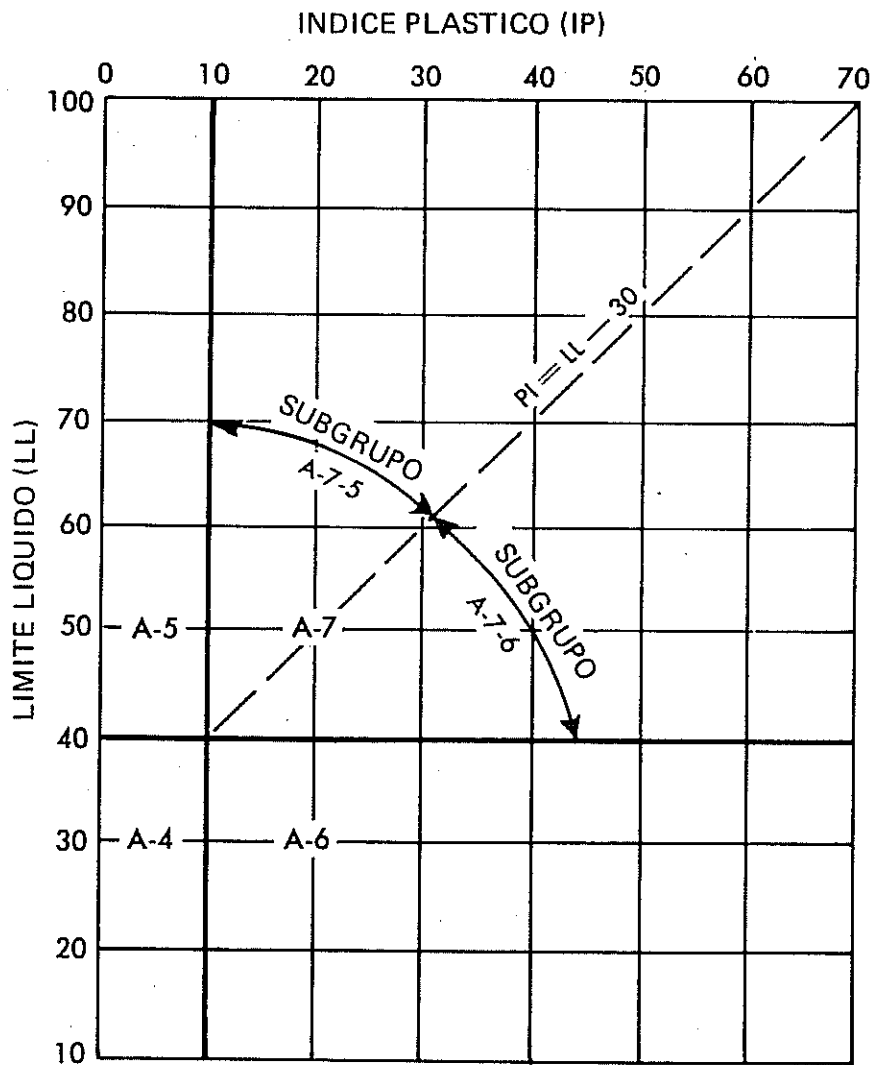


Figura 2. Valores de límite líquido e índice plástico para los Subgrupos A-4, A-5, A-6 y A-7

Los valores del índice de grupo deben ponerse siempre entre paréntesis después del símbolo del grupo, como A-2-6 (3), A-4 (5), etc. Por ejemplo, clasificar el suelo con la siguiente información :

Porcentaje que pasa

$$\text{Tamiz } 2,00 \text{ mm (N}^{\circ}10) = 75$$

$$\text{Tamiz } 425 \mu\text{m (N}^{\circ}40) = 75$$

$$\text{Tamiz } 75 \mu\text{m (N}^{\circ}200) = 41$$

$$\text{Límite líquido} = 41$$

$$\text{Límite plástico} = 34$$

Solución :

$$IP = LL - LP = 41 - 34 = 7$$

$$IG = (-1,435) + (-0,39) = -1,825. \text{ Por lo tanto el índice de grupo se registra como cero.}$$

Empezando por la izquierda de la Tabla 1, se eliminan las clasificaciones A-1 y A-3 en base a los análisis de tamizado. Según la característica de la fracción que pasa el tamiz de $425 \mu\text{m}$ (N^o40), se clasifica al suelo en la columna A-2-5. Como esta clasificación no tiene valor de índice de grupo, se omite esta información. La clasificación es simplemente A-2-5.

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

Generalidades

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se basa en las características de la textura para aquellos suelos con una cantidad tan pequeña de finos que no afectan su comportamiento. Se fundamenta principalmente en las características que determinan cómo se va a comportar el suelo cuando se lo use como material de construcción. Para evaluarlo, se representa el índice plástico (IP) versus el límite líquido (LL) en un gráfico de plasticidad tipo (Figura 3). La posición de los puntos graficados da una información con la que se puede predecir el comportamiento del suelo como material para construcción de obras de ingeniería. Las propiedades siguientes constituyen las bases para su identificación :

1. Porcentajes de grava, arena y fracción fina que pasa el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (N^o200)
2. Forma de la curva granulométrica , y
3. Características de plasticidad y compresibilidad.

Se le da al suelo un nombre descriptivo y una sigla para indicar sus características principales.

En este sistema se reconocen cuatro fracciones de suelo para designar los límites de tamaño de las fracciones de suelo (Tabla 2). El material menor que la malla de $75 \mu\text{m}$ (N^o200) es limo, si es no plástico y el LL e IP graficados están por debajo de la línea A de la Figura 3; es arcilla, si es plástico y el LL e IP graficados están por encima de la línea A. Esto es válido para limos y arcillas inorgánicas y limos orgánicos, pero no para arcillas orgánicas ya que están por debajo de la línea A.

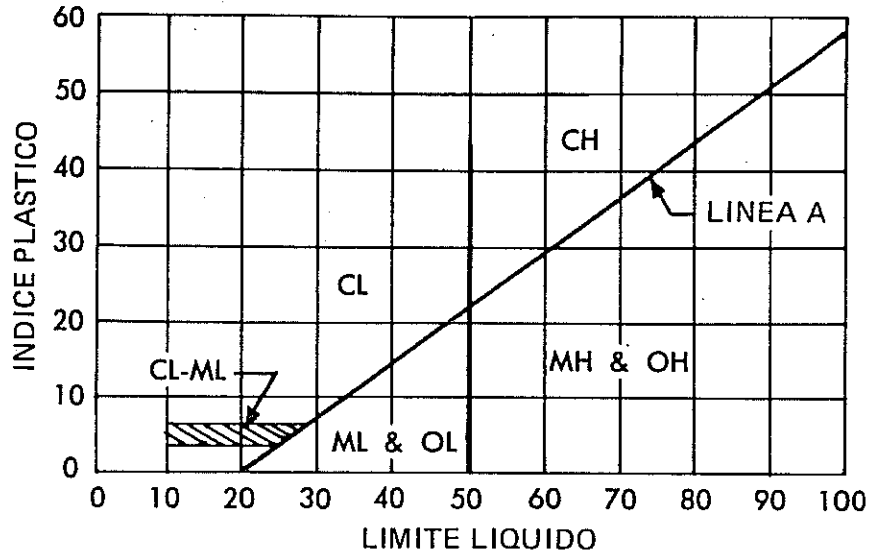


Figura 3. Gráfico de plasticidad

TABLA 2
LIMITES DE TAMAÑO DE LAS FRACCIONES DE SUELO

Componentes	Límites de tamaño	
	sobre 75 mm	(sobre 3 plg)
Canto rodado		
Grava	75 mm a 4.75 mm	(3 plg a No. 4 tamiz)
grava gruesa	75 mm a 19.0 mm	(3 plg a ¾ plg)
grava fina	19.0 mm a 4.75 mm	(¾ plg a No. 4 tamiz)
Arena	4.75 mm a 75 µm	(No. 4 a No. 200)
arena gruesa	4.75 mm a 2.00 mm	(No. 4 a No. 10)
arena media	2.00 mm a 425 µm	(No. 10 a No. 40)
arena fina	425 µm a 75 µm	(No. 40 a No. 200)
Finos (arcilla o limo)	abajo de 75 µm	(abajo No. 200)

Grupos de suelo

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos coloca a los mismos dentro de tres divisiones :

1. De partículas gruesas,
2. De partículas finas y
3. Altamente orgánicos

Los suelos de partículas gruesas son aquellos en los que el 50 por ciento del material o menos pasa por la malla de 75 µm (Nº200). Los de partículas finas son los que más del 50 por ciento pasa la malla de 75 µm (Nº200). A los altamente orgánicos generalmente se los puede identificar con un examen visual.

Este sistema reconoce 15 grupos de suelos y utiliza nombres y siglas fáciles de recordar para distinguirlos. Las siglas (Tabla 3) derivan de los términos descriptivos de las fracciones de suelo, del valor relativo del límite líquido (alto o bajo) o de su granulometría relativa (bien graduado o mal graduado). Combinándolos se forman los símbolos de los grupos correspondientes a los nombres de suelos típicos (Tabla 4). También se usan combinaciones para describir los suelos de la línea límite.

Los suelos de partículas gruesas se subdividen en gravas y suelos ripiosos (G) y arenas y suelos arenosos (S). Las gravas son aquellas en las que la mayor porción del material es retenida en el tamiz de 4,75 mm (Nº4). Las arenas son aquellas que tienen su mayor porción pasando el tamiz de 4,75 mm (Nº4) y retenida en el de 75 μ m (Nº200).

TABLA 3
SIMBOLOS PARA COMPONENTES, GRANULOMETRIA
Y LIMITE LIQUIDO

Componente	Símbolo
Canto rodado	No tiene
Guijarros	No tiene
Grava	G
Arena	S
Limo	M
Arcilla	C
Suelos orgánicos	O
Turva	Pt
Bien graduado	W
Mal graduado	P
LL alto	H
LL bajo	L

Los suelos de partículas finas se subdividen en limos (M por los términos suecos "mo" y "mjala" o polvo) y arcillas (C), según su límite líquido y su índice plástico. Los suelos orgánicos (O) también se incluyen en esta fracción. Los limos son suelos de partículas finas cuyos LL e IP caen debajo de la línea A en la Figura 3; las arcillas están por encima de dicha línea. Las fracciones de limo, arcilla y orgánicas se subdividen a su vez, según tengan límite líquido relativamente bajo (L) o alto (H). Se fijó arbitrariamente la línea divisoria entre límite líquido bajo y alto en un valor de 50.

Los suelos altamente orgánicos están en un grupo (Pt). Generalmente son muy compresibles y de características inadecuadas para construir. Los más comunes son turba, humus y ciénagas con una composición altamente orgánica. Comúnmente están formados por partículas de hojas, pasto, ramas o cualquier otra materia vegetal fibrosa.

Clasificación en campaña

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos está hecho de forma tal que la mayoría de los suelos puedan clasificarse en por lo menos tres grupos primarios mediante inspección visual y ensayos simples en campaña. Con experiencia, se puede determinar visualmente a cual subdivisión per-

tenecen. La habilidad para clasificar en campaña con el sistema unificado es una gran ventaja ya que se les da a todos los suelos por lo menos una clasificación preliminar. Cuando es necesario, se los identifica mejor mediante ensayos de laboratorio. Los métodos de ensayo en campaña o en laboratorio son similares en muchos aspectos.

Los ensayos para identificar los suelos en campaña son el de dilatancia o agitado, resistencia en estado seco y tenacidad o consistencia cerca del límite plástico. Los procedimientos para realizar estos ensayos se encuentran debajo de la Tabla 4.

La clasificación se realiza por un proceso de eliminación, comenzando por el lado izquierdo de la Tabla 4, prosiguiendo hacia la derecha hasta obtener el grupo apropiado.

Clasificación en laboratorio

La misma información descriptiva que se requiere para la clasificación en campaña es necesaria para la clasificación de laboratorio. Se controla y afina la clasificación de campaña empleando elementos de laboratorio comunes para realizar ensayos simples y de rutina, como granulometría, límite líquido y límite plástico. La granulometría se determina por análisis sobre tamices. Las características de plasticidad se evalúan usando ensayos de límites líquido y límite plástico en la fracción fina de suelo que pasa el tamiz de $425 \mu\text{m}$ (N° 40). El criterio de clasificación está en la columna 7 de la Tabla 4. El gráfico de plasticidad (Fig. 3) se usa para los suelos de partículas finas y para la porción fina de suelos de partículas gruesas.

Los métodos de ensayo para clasificar suelos son:

Ensayos normalizados	Designación	
	AASHTO	ASTM
Cantidad de material más fino que $75 \mu\text{m}$ (N°200)	T 11	D 1140*
Análisis sobre tamices de agregado fino y grueso	T 27	C 136*
Peso específico del suelo	T 100	D 854*
Análisis de tamaño de partículas de suelos	T 88	D 422*
Límite líquido de suelos	T 89	D 423*
Límite plástico e índice plástico de suelos	T 90	D 424*

* Los métodos de ensayo ASTM se diferencian en algunos aspectos de los AASHTO correspondientes.

TABLA 4
CLASIFICACION DE SUELOS UNIFICADA
(INCLUYE IDENTIFICACION Y DESCRIPCION)

Divisiones principales		Símbolo de Grupo	Nombre clásico	Método de identificación en el campo excluyendo las partículas mayores de 75mm (13 pulg), basados en fracciones de pesos estimados	
1	2	3	4	5	
Suelos de partículas gruesas. Más de la mitad del material tiene un tamaño mayor al tamiz de 75 µm (Nº200). El tamiz de 75 µm corresponde casi a la menor partícula visible a simple vista.	Gravas Más de la mitad de la fracción gruesa es de tamaño mayor que el tamiz de 4,75 µm (Nº4). Para la clasificación visual puede usarse el calibre de 6,3 mm (1/4 pulg) como equivalente al tamiz de 4,75 mm (Nº 4).	Gravas limpias (poco o nada de finos)	GW Gravas bien graduadas, mezclas grava-arena, con poco o nada de finos	Amplia gama de tamaños de partículas y cantidades agregable de todos los tamaños intermedios.	
		Gravas limpias (poco o nada de finos)	GP Gravas mal graduadas, mezcla grava-arena, con poco o nada de fino	Predominio de un tamaño o un intervalo de tamaños con ausencia de algunos tamaños intermedios.	
		Gravas con finos (Cantidad apreciable de finos)	GM Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo	Fracción fina poco o nada plástica. (Para procedimientos de identificación ver grupo ML)	
		Gravas con finos (Cantidad apreciable de finos)	GC Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla	Fracción fina plástica. (Para procedimientos de identificación ver grupo CL).	
	Arenas Más de la mitad de la fracción gruesa es de tamaño inferior al tamiz de 4,75 µm Para la clasificación visual puede usarse el calibre de 6,3 mm (1/4 pulg) como equivalente al tamiz de 4,75 mm (Nº 4).	Arenas limpias (poco o nada de finos)	SW Arenas bien graduadas, arenas con gravas, con poco o nada de finos	Amplia gama de tamaños de partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios.	
		Arenas limpias (poco o nada de finos)	SP Arenas mal graduadas, arenas con gravas, con poco o nada de finos	Predominio de un tamaño o un intervalo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios.	
		Arenas con finos (Cantidad apreciable de finos)	SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Fracción fina poco o nada plástica. (Para procedimientos de identificación ver grupo ML).	
		Arenas con finos (Cantidad apreciable de finos)	SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	Fracción fina plástica. (Para procedimientos de identificación ver grupo CL).	
					Métodos de identificación en fracciones inferiores al tamiz de 425 µm (Nº40).
					Resistencia en estado seco (Característica de rotura)	Dilatancia (Reacción al agitado)	Tenacidad (Consistencia cerca de LP)
Suelos de partículas finas. Más de la mitad del material es de tamaño inferior al tamiz de 75 µm (Nº200). El tamiz de 75 µm corresponde casi a la menor partícula visible a simple vista.	Limos y arcillas. Límite líquido inferior a 50	ML Limos inorgánicos y arenas muy finas polvo de oca, arenas finas limosas o arcillosas o limos arcillosos ligeramente plásticos	Nula o débil	Rápida a lenta	Nula
		CL Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con gravas, arenas, limosas o pobres.	Media a elevada	Nula a muy lenta	Media
		OL Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	Débil a Media	Lenta	Ligera
	Limos y arcillas. Límite líquido superior a 50	MH Limos inorgánicos, suelos finos, arenosos o limosos, micáceos o diatomeáceos limos elásticos	Débil a Media	Lenta a nula	Ligera a media
		CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas muy plásticas	Elevada a muy elevada	Nula	Elevada
		OH Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos.	Media a elevada	Nula a muy lenta	Ligera a media
Suelos altamente orgánicos		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y a menudo textura fibrosa	

(1) Clasificación en los límites: los suelos que posean las características de dos grupos, se designan con la combinación de los dos símbolos. Por ejemplo GW-GC, mezcla de grava y arena bien graduados con contenido arcilloso. (2) Todos los tamaños de las mallas en esta carta son los Standard U.S.

PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION PARA SUELOS FINOS O FRACCIONES FINAS DE SUELO EN CAMPAÑA

Serie de tamices Standard USA		
Standard	Alternativa	
75 mm	3 pulg.	
12.5 mm	1/2 pulg.	
6.3 mm	1/4 pulg.	
4.75 mm	No. 4	
2.00 mm	No. 10	
425 µm	No. 40	
75 µm	No. 200	

Estos procedimientos se deben ejecutar con la fracción que pasa la malla de 425µm (Nº40), aproximadamente 0,4 mm (1/64 pulg). Para fines de clasificación en campaña, no se usa el tamizado, simplemente se quitan a mano las partículas gruesas que interieran con los ensayos.

Dilatancia (Reacción al agitado).
Después de quitar las partículas mayores que la malla de 425µm (Nº40), preparar una pastilla de suelo húmedo de un volumen aproximadamente igual a 1ml (0,5 pulg cúbicas); si es necesario, añadir suficiente agua para dejar el suelo suave pero no pegajoso. Colocar la pastilla en la palma de la mano abierta y agitar horizontalmente, golpeando vigorosamente

contra la otra mano varias veces. Una reacción positiva consiste en la adición de agua en la superficie de la pastilla, adquiriendo una apariencia mate volviéndose lustrosa. Cuando se aprieta la pastilla entre los dedos el agua y el tierra desaparecen de la superficie. La pastilla se vuelve rígida y finalmente se agrieta o desmenuza. La rapidez de la aparición del agua durante el agitado y su desaparición durante el aprietao sirve para identificar el carácter de los finos de un suelo. Las arenas limpias muy finas dan la reacción más rápida y distinguida, mientras que las arcillas plásticas no tienen reacción. Los limos inorgánicos, tales como el típico polvo de roca, dan una reacción rápida moderada.

TABLA 4 (Continuación)

Información necesaria para la descripción de los suelos.	Criterio de clasificación en el laboratorio	
6	7	
<p>Para suelos inalterados agregar informaciones sobre estratificación, grado de compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.</p>	<p>$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Superior a 4</p> <p>$C_c = \frac{(D_{10})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ entre 1 y 3</p> <p>No responde a todos los requisitos granulométricos de GW</p>	
<p>Dar el nombre típico; indicar los porcentajes aproximados de arena y grava, tamaño máximo angulosidad, condición de superficie y dureza de partículas gruesas, nombre local o geológico y otra información pertinente; y el símbolo entre paréntesis.</p>	<p>Límite de Atterberg por debajo de recta A o IP inferior a 4.</p> <p>Límite de Atterberg por encima de recta A o IP superior a 7.</p> <p>Arriba de recta A y con IP entre 4 y 7 son casos límites que requieren símbolos dobles.</p>	
<p>Ejemplo: Arena limosa, con grava; aproximadamente 20% de partículas duras y angulosas de grava de 13 mm (1/2 pulg.) de tamaño máximo; partículas redondeadas y subangulosas de arena gruesa a fina; aproximadamente 15% de finos no plásticos de baja resistencia en estado seco; bien compactada y húmeda en el lugar arena aluvial; (SM).</p>	<p>$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ superior a 6</p> <p>$C_c = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ entre 1 y 3</p> <p>No responde a todos los requisitos granulométricos de SW.</p>	
<p>Dar el nombre típico, indicar el grado y carácter de plasticidad; cantidad y tamaño de partículas gruesas, color del suelo húmedo; olor, si tiene; nombre local o geológico y otra información descriptiva pertinente; y el símbolo entre paréntesis.</p>	<p>Límite de Atterberg por debajo de recta A o IP inferior a 4.</p> <p>Límite de Atterberg por encima de recta A o IP superior a 7.</p> <p>Límites dentro de zona sombreada con IP entre 4 y 7 son casos límites que requieren símbolos dobles.</p>	
<p>Para suelos inalterados, agregar información sobre estructura, estratificación, consistencia en estado inalterado y en remoldeado, condiciones de humedad y drenaje.</p>	<p>Determinar los porcentajes de grava y arena con la curva de retención. Según el porcentaje de finos (fracción que pasa la malla de 75µm (Nº200)) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos de 5% Más de 12% De 5 a 12% Casos límites que requieren símbolos dobles.</p>	
<p>Ejemplo: Limo arcilloso; marrón, ligeramente plástico, reducción porcentajes de arena fina, numerosos agujeros verticales de raíces, firme y seco in situ; loess (ML).</p>	<p>Utilizar la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo dadas</p> <p>INDICE PLASTICO</p> <p>LIMITES LIQUIDO CARTA DE PLASTICIDAD</p> <p>Para clasificación de suelos de partículas finas en laboratorio.</p>	

Resistencia en estado seco (Características a la rotura).

Después de eliminar las partículas mayores que la malla de 425µm (Nº40), moldear una pastilla de suelo hasta alcanzar la consistencia de la masilla, añadiendo agua si fuera necesario. Dejar secar la pastilla completamente en estufa, al sol o al aire y probar entonces su resistencia rompiéndola o desmenuzándola entre los dedos. Esta resistencia es una medida del carácter y cantidad de la fracción coloidal que contiene el suelo. La resistencia en estado seco aumenta con la plasticidad.

Una alta resistencia en seco es característica de las arcillas del grupo CH. Un limo inorgánico típico posee muy poca resistencia. Las arenas finas limosas y los limos tienen también poca resistencia, pero pueden distinguirse por el tacto al pulverizar la probeta en seco. La arena fina se siente granular, mientras que el limo típico da la sensación suave de la harina.

Tenacidad (Consistencia cerca del límite plástico).

Después de eliminar las partículas mayores que la malla de 425µm (Nº40), moldear una probeta de aproximadamente 13 mm (0,5 pulg) cúbicos hasta alcanzar la consistencia de la masilla. Si el suelo está muy seco, debe agregarse agua, pero si está pegajoso, debe oxidarse la probeta formando una capa delga-

da que permita la pérdida de algo de humedad por evaporación. Posteriormente se hace con la mano un rollo de aproximadamente 3 mm (1/8 pulg) de diámetro sobre una superficie lisa o entre las palmas. Se amasa y vuelve a rotar varias veces. Durante estas operaciones, el contenido de humedad se reduce gradualmente y la probeta llega a ponerse rígida, pierde finalmente su plasticidad y se desmenuza al alcanzar el límite plástico.

Después que el rollo se ha desmenuzado, se juntan los pedazos y se continúa amasando ligeramente hasta que la masa se desmenuce nuevamente.

La potencialidad de la fracción coloidal arcillosa de un suelo se identifica por la tenacidad del rollo cerca del límite plástico y por la rigidez de la muestra al romperse finalmente entre los dedos. La debilidad del rollo en el límite plástico y la pérdida rápida de la cohesión de la muestra por debajo de este límite, indican la presencia de arcilla inorgánica de baja plasticidad o de materiales tales como arcilla de tipo caolin y arcillas orgánicas que caen debajo de la recta A.

Las arcillas orgánicas son muy débiles y esponjosas al tacto, en el límite plástico.

396 394

LECCION 2

METODOS PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE

Objetivo: Describir métodos de evaluación de la resistencia de subrasantes para estructuras de pavimento asfáltico.

INTRODUCCION	I19
Necesidad de evaluación de la resistencia	I19
Métodos de evaluación	I19
ENSAYO DE LA PLACA DE CARGA	I20
Generalidades	I20
Procedimiento de ensayo	I20
Cálculos y graficación de resultados	I21
METODO DEL VALOR SOPORTE CALIFORNIA (CBR)	I21
Generalidades	I21
Preparación de las probetas de ensayo	I23
Ensayo de penetración	I24
Cálculos y graficación de resultados	I25
METODO DEL VALOR DE RESISTENCIA (VALOR R)	I28
Generalidades	I28
Preparación de las muestras	I28
Compactación de las probetas de ensayo	I28
Determinación de la presión de exudación	I30
Determinación de la presión de expansión	I30
Determinación del valor R	I32
Valor R de diseño	I33
METODO DEL MODULO DE RESILIENCIA (Mr)	I34
Generalidades	I34
Equipo	I34
Carga	I35
Resultados y cálculos	I35

27000

396

LECCION 2**METODOS PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE****INTRODUCCION*****Necesidad de evaluación de la resistencia***

Los espesores necesarios para pavimentos asfálticos dependen en gran medida de la resistencia de la subrasante terminada. El criterio dominante en el diseño de los mismos es ensayar los suelos a la humedad y densidad previstas.

La estabilidad está muy relacionada con la densidad y el contenido de humedad. La resistencia varía según el grado de compactación y el contenido de humedad del pavimento terminado. Si la experiencia indica que un cierto suelo no puede compactarse económicamente a densidad elevada, entonces los ensayos de diseño tampoco deben realizarse a valores altos de la misma.

La resistencia para el diseño se debe basar en valores obtenidos de muestras de suelo en las peores condiciones previstas. Generalmente esto implica ensayar una muestra embebida en agua.

Métodos de evaluación

Los métodos de diseño que se utilizan son muy distintos y también varía su aproximación en la evaluación de la resistencia de la subrasante para el diseño. Los métodos de evaluación que se analizan a continuación son probablemente los más difundidos para el proyecto de pavimentos asfálticos para pistas de aeropuertos y carreteras.

- (a) Ensayo de la Placa de Carga.
- (b) Método del Valor soporte California (CBR)
- (c) Método del Valor de la Resistencia (Valor R)
- (d) Método del Módulo de Elasticidad (Mr)

Durante 1945 y 1946 el Canadian Department of Transport realizó una investigación de las pistas de los aeropuertos principales del Canadá. Norman W. Mc. Leod, consultor, produjo un informe de este trabajo. Uno de los objetivos era obtener resultados de ensayos que pudieran emplearse en el diseño de pavimentos flexibles, basándose en pruebas repetidas de placa de carga realizadas en la subrasante o en las capas asfálticas ya colocadas.

El ensayo del Valor Soporte California (CBR), con sus numerosas variantes, es probablemente el método más utilizado en el diseño de estructuras de pavimentos asfálticos. Fue desarrollado alrededor de 1930 por la California Division of Highways. Desde entonces lo adoptaron y modificaron muchos estados, el US Corps of Engineers y muchos países, aunque el California Department of Transportation no lo usa más.

F.N. Hveem y R.M. Carmany de la California Division of Highways desarrollaron un método para evaluar materiales usados en bases, sub-bases y subrasantes, tratadas y no tratadas, para diseñar espesores de pavimentos. Se lo conoce como método del Valor de Resistencia (Valor R), usado por los departamentos de carreteras de varios estados, además del de California.

El Asphalt Institute desarrolló el método del Módulo de Elasticidad (Mr) basándose en un ensayo realizado por H.B. Seed, C.K. Chan y C.E. Lee, de la University of California. Se los usa para determinar la elasticidad de una probeta de suelo en condiciones que representan las tensiones en pavimentos sometidos a cargas por ruedas móviles.

ENSAYO DE LA PLACA DE CARGA

Generalidades

Numerosos organismos usan ensayos de placa de carga para el diseño y evaluación de estructuras de pavimentos asfálticos. Los procedimientos empleados pueden variar algo entre las distintas reparticiones. El analizado aquí es el "Ensayo de carga de placa estática, repetida de suelos y componentes de pavimentos flexibles para evaluación y diseño de pavimentos de aeropuertos y carreteras" (ASTM D 1195).

Como cualquier otro ensayo de resistencia de suelos, este ensayo es representativo de la resistencia de la subrasante sólo si se lo realiza con el suelo en las mismas condiciones que se espera tenga luego que se hayan considerado las influencias de la humedad, densidad, heladas, drenaje y tránsito. Para encontrar la resistencia de la subrasante en un pavimento nuevo de carreteras o aeropuertos, se debe usar alguno de los métodos siguientes:

1. Realizar el ensayo bajo un pavimento asfáltico existente que tenga el mismo suelo de subrasante y un tiempo de colocación suficiente como para que la subrasante haya alcanzado un equilibrio con su entorno.
2. Realizar el ensayo en un tramo experimental de suelo construido como modelo hasta una profundidad adecuada preparada en las condiciones que se esperan luego de cierto tiempo en el pavimento a construir.

Procedimiento de ensayo

La Figura 1 muestra el equipo que se usa para realizar el ensayo de carga repetida. Las exigencias para el diseño de espesores para aeropuertos y carreteras se basan en:

	Carreteras	Pista de aeropuerto
Diámetro de la placa de carga, m (pulg)	0.30 (12)	0.76(30)
Deflexión, mm (pulg.)	5 (0.2)	13 (0.5)
Repeticiones de carga	10	10

Como primer paso, se asienta el equipo con una aplicación rápida de carga suficiente para producir una deflexión de 0,25 a 0,5mm (0,01 a 0,02 plg) y se la quita. Se le aplica luego la mitad de la carga de asiento y se colocan en cero los diales de medida de deflexión.

Se aplica una carga que produzca una deflexión de aproximadamente 1mm (0,04 pulg) y se la mantiene hasta que el incremento de la flecha sea de 0,03 mm (0,001 pulg) por minuto o menos, durante 3 minutos consecutivos. Se saca la carga y se observa la recuperación hasta que la variación de esta sea de 0,03 mm (0,001 pulg) por minuto o menos. Este procedimiento de aplicación y retiro de la misma carga se repite hasta completar diez aplicaciones.

Al terminar esta serie se incrementa la carga hasta que la deflexión sea de aproximadamente 5 mm (0,2 pulg); se repite el mismo procedimiento con carga incrementada. La carga es aumentada en una cantidad que produzca una deflexión de aproximadamente 10 mm (0,4 pulg) empleando el mismo proceso con la nueva carga.

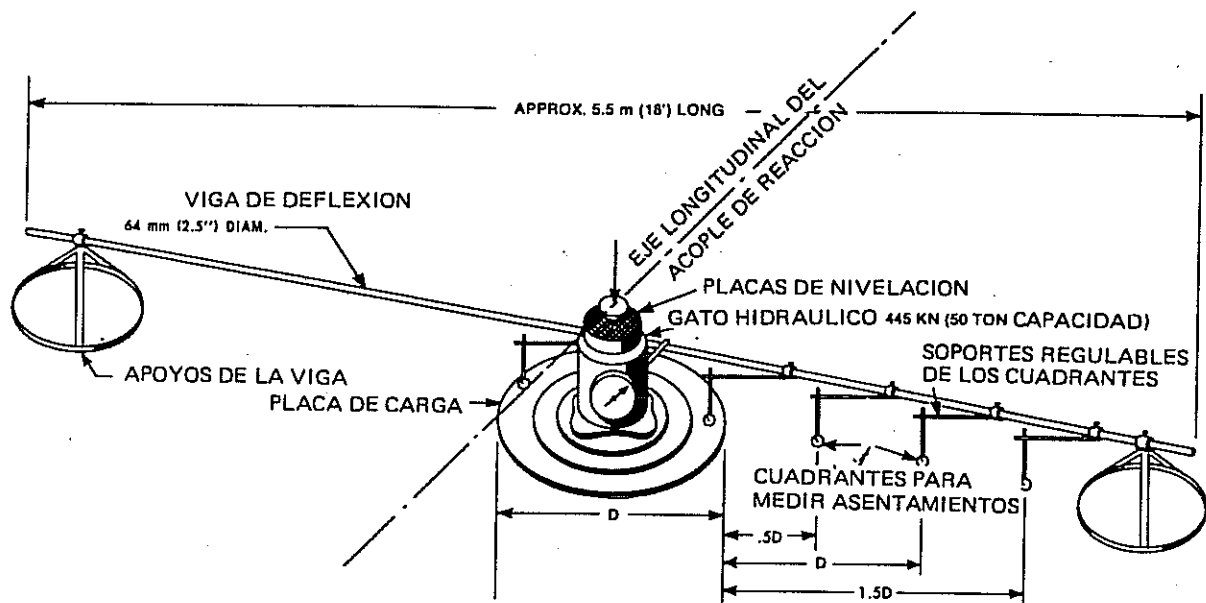


Figura 1. Equipo para el ensayo de placa de carga.

Cálculos y graficación de resultados

Para cada repetición de carga se determina la deflexión final en la cual la variación sea de 0,03 mm (0,01 pulg) por minuto. Se realizan las correcciones necesarias en los valores de deflexión y de carga. Se grafican las deflexiones en función de las repeticiones de carga (Figura 2), para mostrar la influencia de éstas en la deflexión; y carga total vs. deflexión promedio, para diez repeticiones de aplicaciones de carga (Figura 3). Se unen los puntos con una curva y se determina el valor de la placa de carga.

METODO DEL VALOR SOPORTE CALIFORNIA (CBR)

Generalidades

El método del Valor Soporte California (CBR) es probablemente el más utilizado para el diseño estructural de pavimentos asfálticos. Fue desarrollado alrededor de 1930 por la California Division of Highways y desde entonces, adoptado y modificado por numerosos estados, el US Corps of Engineers y muchos países del mundo. El Corps of Engineers adoptó este método durante la década de 1940. Este procedimiento de ensayo fue muy usado hasta 1961, año en que la American Society

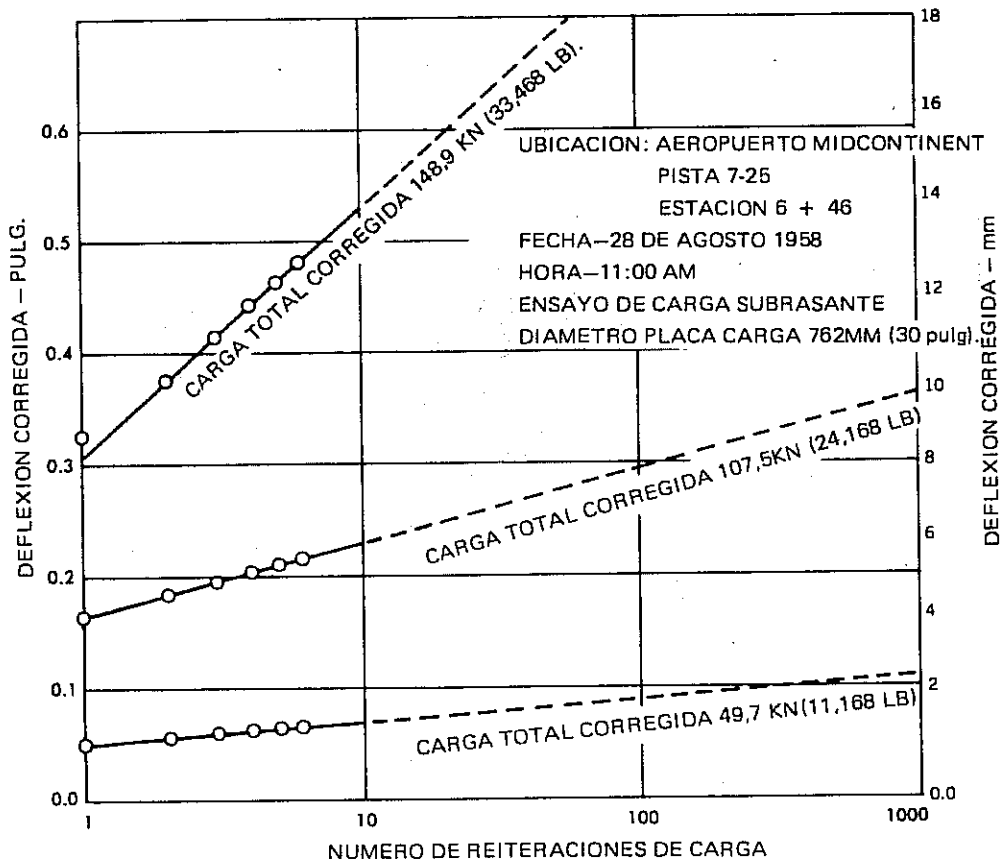


Figura 2. Influencia de las reiteraciones de carga en la deflexión para tres magnitudes de carga

for Testing and Materials adoptó el método ASTM D 1883 "Valor Soporte de Suelos Compactados en Laboratorio". Este difiere en algunos aspectos de los procedimientos del U.S. Corps of Engineers y de la American Association of State High way and Transportation Officials, AASHTO T 193. El procedimiento ASTM es más facil de usar. Se lo describe en esta lección.

El CBR es una medida comparativa de la resistencia al corte del suelo. El ensayo consiste en determinar la carga que es necesaria aplicar para que un pistón de tamaño normalizado penetre en una probeta de suelo a una velocidad especificada. Se divide dicha carga por la necesaria para alcanzar la misma penetración sobre una muestra tipo de material pétreo triturado. El resultado, multiplicado por 100, es el Valor Soporte California (CBR). En general se usan penetraciones de 2,5 a 5 mm (0,1 ó 0,2 pulg), pero también si se desea se puede usar 7,5; 10 y 12,5 mm (0,3; 0,4 y 0,5 pulg). Las cargas de penetración sobre el material pétreo triturado están normalizadas. La intención de este método es brindar un valor portante relativo, o CBR, de materiales para base, subbase, y subrasante. Hay procedimientos para materiales esponjosos, no esponjosos y granulares, compactados en laboratorio. Estos ensayos se emplean para obtener información a utilizar en el proyecto.

402 - 400

y
ra
m
b.
h.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

El valor CBR de un suelo depende de su densidad y de los contenidos de humedad en el moldeo y luego de un embebido. Las primeras dos de estas variables deben controlarse cuidadosamente durante la preparación de las muestras ya que la compactación en laboratorio debe representar fielmente a los resultados de la compactación en campaña. Los ensayos de CBR deben registrarse sobre muestras embebidas a menos que se pueda asegurar que el suelo ensayado no va a acumular humedad ni estará afectado por ella luego de la construcción.

Antes de hacer el ensayo de CBR, de un suelo se deben realizar ciertos ensayos de rutina que son:

	ASTM	AASHTO
Análisis de tamizado de agregado fino y grueso	C 136	T 27
Límite líquido de suelos	D 423	T 89
Límite plástico e índice plástico de suelos	D 424	T 90
Análisis de tamaño de partículas de suelos (sólo para clasificarlos)	D 422	T 88
Relación humedad-densidad de suelos usando pisón de 2,5 kg (5,5 lb)	D 698	T 99
Relación humedad-densidad de suelos usando pisón de 4,5 kg (10 lb)	D 1577	T 180

Preparación de las probetas de ensayo

Si se va a embeber la probeta, se extrae una muestra representativa del material para determinar la humedad al comienzo de la compactación y otra del material remanente luego de la compactación. Se pesa inmediatamente el material y se lo seca en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) durante 12 horas por lo menos, o hasta peso constante. Cada muestra para determinar el contenido de humedad no debe pesar menos de 100 gr. para suelos de partículas finas y de 500 gr. para suelos granulares. Si no va a ser embebida, se extrae una muestra representativa del material de las caras del corte, luego de la penetración, para determinar el contenido de humedad.

En la Figura 4 se muestra el aparato para ensayo de *Valor Soporte California*. El molde con el collar de extensión colocado, se fija a la placa de base. Se inserta el disco espaciador sobre esta placa y sobre éste se coloca papel de filtro grueso. Se compacta la muestra de suelo a densidad máxima con contenido de humedad óptimo como indica la ASTM D 698 o la D 1557.

Se saca el collar de extensión y se enrasa el suelo compactado a nivel del borde del molde con una espátula recta. Se saca el disco espaciador y se invierte el molde. Se coloca el borde enrasado del suelo en la placa de base perforada que está cubierta con un papel de filtro. Se coloca el conjunto de vástago y placa sobre la muestra compactada de suelo.

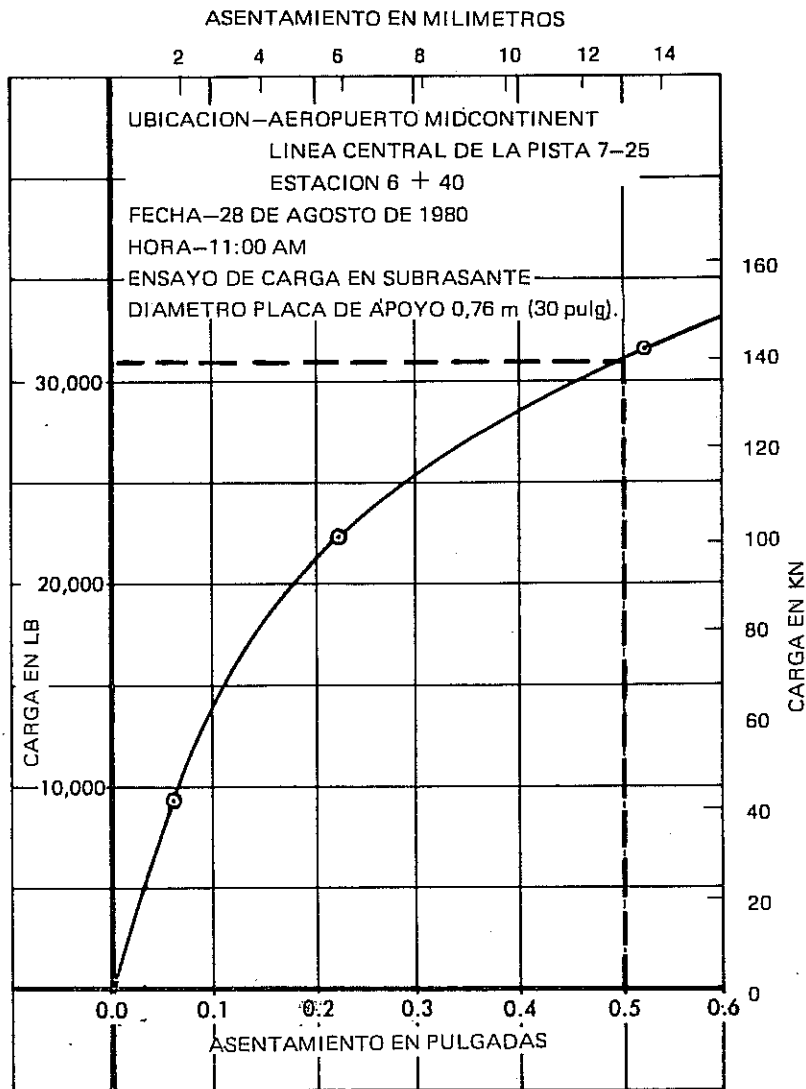


Figura 3. Carga total corregida para 10 repeticiones de carga

Se colocan piezas de sobrecarga cuyo peso estimado no debe diferir en más de 2,27 kg (5 lb) del peso de la base y pavimento supuesto que actuará sobre el suelo. Sin embargo en ningún caso debe ser inferior a 4,54 kg (10 lb). La muestra se sumerge en agua y se toman las medidas iniciales para determinar el hinchamiento. Luego de 96 horas, o un período menor para suelos ya humedecidos, se toman las medidas finales para determinar el hinchamiento como un porcentaje de la altura inicial de la probeta. Se retira del agua y se saca la sobrecarga y el plato perforado. Se la deja escurrir por 15 minutos y transcurrido este tiempo se la pesa y se la prepara para el ensayo de penetración.

Ensayo de penetración

El ensayo de penetración se lleva a cabo con piezas de sobrecarga iguales a aquellas usadas du-

402

durante el período de embebimiento. Se coloca el conjunto del molde en una estructura de carga o prensa hidráulica. Primero se asienta el pistón con una carga inicial de 44 N (10 lb) y se ponen en cero todos los indicadores. Luego se aplica una carga con una velocidad uniforme de 1,27 mm (0,05 pulg) de penetración por minuto. Se toman las lecturas de la carga total para las siguientes penetraciones:

0.6 mm (0.025 pulg)	3.2 mm (0.125 pulg)	6.4 mm (0.250 pulg)
1.3 mm (0.050 pulg)	3.8 mm (0.150 pulg)	7.5 mm (0.300 pulg)
1.9 mm (0.075 pulg)	4.4 mm (0.175 pulg)	10.0 mm (0.400 pulg)
2.5 mm (0.100 pulg)	5.0 mm (0.200 pulg)	12.5 mm (0.500 pulg)

Finalmente se retira la carga, se desarma el conjunto del molde y se determina el contenido de humedad para los 25 mm (1 pulg) superiores o para la profundidad total de la muestra.

Cálculos y graficación de resultados

Luego de completado el ensayo, se calcula la carga de penetración megapascales (psi) y se grafica la curva carga-penetración en papel cuadrulado. Para obtener las cargas reales de penetración de los resultados del ensayo, se ajusta el punto cero de la curva para corregirla por las irregularidades

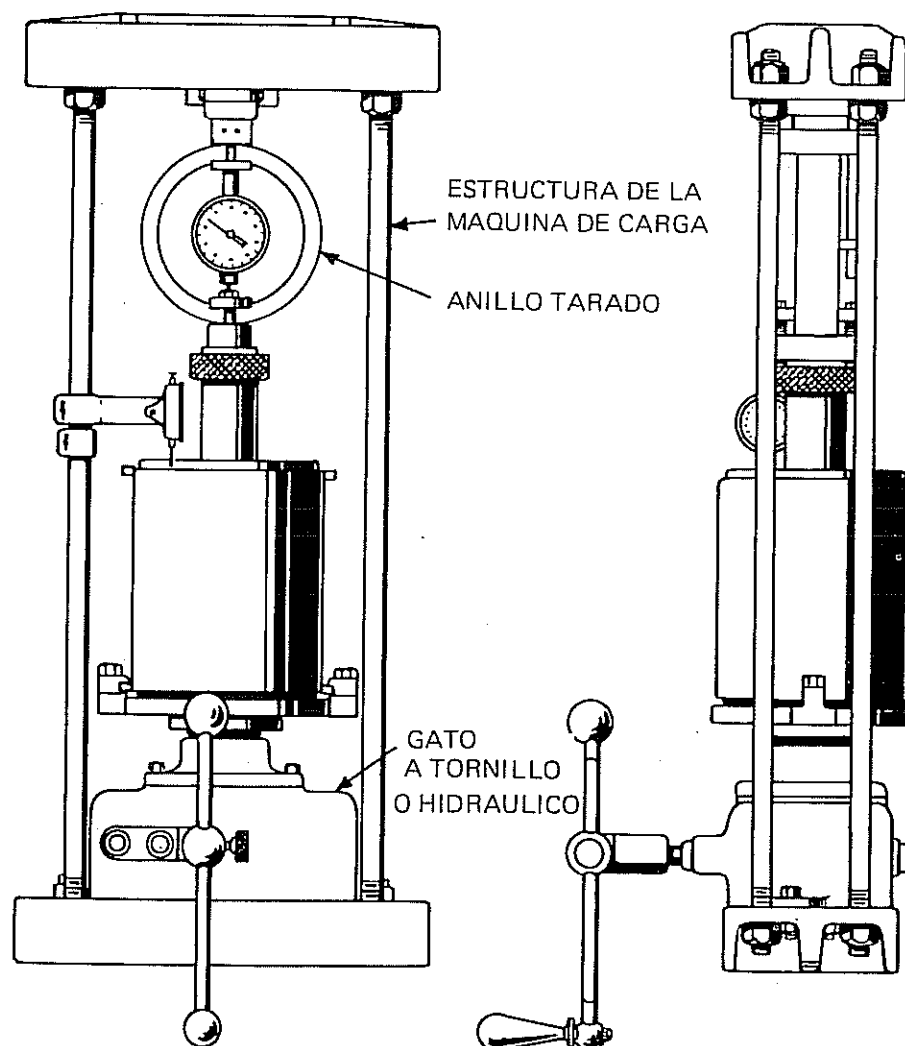


Figura 4. Conjunto para ensayo de CBR

de la superficie y la concavidad inicial hacia arriba de la curva, si existe. Si la curva es uniforme, como en el ejemplo N°1 de la Figura 5, el valor CBR se calcula con las cargas registradas. Para irregularidades de la superficie, como en el ejemplo N°3 de esta Figura, se extiende la porción recta de la curva hasta la base para obtener un origen corregido o cero. Si tiene una curvatura inversa, o forma cóncava hacia arriba, como en el ejemplo N°2, trazar una tangente al punto en donde esté la mayor inclinación de la curva (punto A) y extenderla hasta la base para obtener el origen correcto o punto cero (punto B). Leer los valores de carga corregidos para 2,5 mm (0,01 pulg) (punto C) y 5 mm (0,2 pulg) (punto D) de penetración.

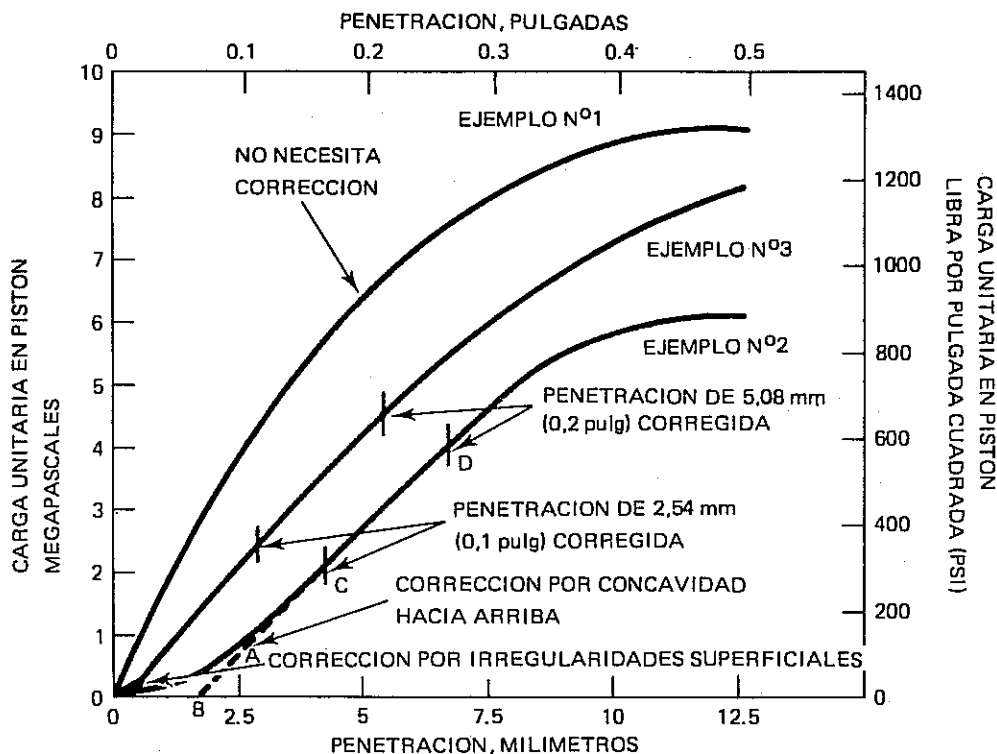


Figura 5. Corrección de las curvas carga-penetración

El valor CBR se define como una relación que compara la capacidad portante de un material con el que corresponde a piedra triturada bien graduada. Las cargas de penetración de la piedra triturada tipo se muestran en la siguiente tabla:

Penetración		Carga Normalizada		Presión Normalizada*	
mm	(pulg)	N	(lb)	MPa	(psi)
2.5	(0.1)	13345	(3000)	6.89	(1000)
5.	(0.2)	20017	(4500)	10.34	(1500)
7.5	(0.3)	25355	(5700)	13.10	(1900)
10.	(0.4)	30693	(6900)	15.86	(2300)
12.5	(0.5)	34696	(7800)	17.93	(2600)

* Area de la sección transversal del pistón = 1935,5 mm² (3 pulg²).

406 404

El CBR se determina con los valores de carga corregidos para penetraciones de 2,5 y 5 mm (0,1 y 0,2 pulg) divididos por las cargas standard de 6,89 y 10,34 Mpa (1000 y 1500 psi) respectivamente. Se multiplica cada relación por 100 para obtener el CBR en porcentaje. Generalmente, el CBR se selecciona para una penetración de 2,5 mm (0,1 pulg). Si el CBR para 5 mm (0,2 pulg) es

Informe del ensayo del Valor Soporte California

Fecha del moldeo _____ Fecha de penetración _____

Proyecto _____

Muestra Nº _____ Compactada a _____

A. Peso de la muestra compactada, molde y placa de base; kg _____

B. Tarado del molde y placa de base; kg _____

C. Peso de la muestra; kg _____

D. Peso de la muestra compactada; kg _____

E. Volumen de la muestra; cm³ _____

F. Peso húmedo unitario; kg/cm³ _____

G. Contenido de humedad; % _____

H. Peso seco unitario; kg/cm³ _____

Datos de hinchamiento y consolidación

N. Peso de la sobrecarga _____ kg R. % Expansión o consolidación _____

O. Lectura inicial del dial _____ mm

P. Lectura final del dial _____ mm

Q. Diferencia _____ mm $R = \frac{Q}{D} \times 100$

S. Peso de muestra, molde y placa de base después de la saturación; kg _____

Muestras para determinación de humedad

25 mm superiores		Mayor parte de la muestra	
Bandeja Nº _____		Bandeja Nº _____	
Peso húm. _____ g	Peso seco _____ g	Peso húm. _____ g	Peso seco _____ g
Peso seco _____ g	Peso tara _____ g	Peso seco _____ g	Peso tara _____ g
Porcentaje humedad _____		Porcentaje humedad _____	
T. Suma de pesos húmedos netos _____	+	_____	= _____
U. Suma de pesos secos netos _____	+	_____	= _____

Datos de penetración

Pen.	CARGA, kN (lb)	CARGA, MPa (psi)	CBR corregido		
			carga cbr. Stand.		
Pen.	MPa (psi)	MPa (psi)	C.B.R.		
0.6 mm (.025 plg):	:	:	2.5 mm (.100 plg)	6.89 (1000)	_____
1.3 mm (.050 plg):	:	:	5. mm (.200 plg)	10.34 (1500)	_____
1.9 mm (.075 plg):	:	:	7.5 mm (.300 plg)	13.10 (1900)	_____
2.5 mm (.100 plg):	:	:	10. mm (.400 plg)	15.86 (2300)	_____
3.2 mm (0.125 plg):	:	:	12.5 mm (.500 plg)	17.93 (2600)	_____
3.8 mm (.150 plg):	:	:			
4.4 mm (0.175 plg):	:	:			
5. mm (.200 plg):	:	:			
6.4 mm (0.250 plg):	:	:			
7.5 mm (.300 plg):	:	:			
10. mm (.400 plg):	:	:			
12.5 mm (.500 plg):	:	:			

NOTA: $C = A - B$ $F = \frac{C}{E}$

$G = \frac{C - U}{U} \times 100$ $H = \frac{F}{100 + G} \times 100$

Figura 6. Ejemplo de planilla para anotar la información del ensayo CBR

1000

mayor, se debe realizar el ensayo nuevamente. Si en ensayos de control se obtienen resultados similares, se debe usar el CBR para 5 mm (0,2 pulg) de penetración.

METODO DEL VALOR DE RESISTENCIA (VALOR R)

Generalidades

El método de valor R de diseño se basa en dos mediciones separadas: (a) el valor R (o valor de resistencia) y (b) el ensayo de presión de expansión. Con el valor R se determina el espesor de la tapada o la sección estructural necesaria para prevenir la deformación plástica del suelo bajo cargas impuestas por rueda. El ensayo de presión de expansión permite determinar el espesor o el peso de la tapada necesario para mantener la compactación del suelo. Este valor R de diseño se determina en función del contenido de humedad y de la densidad a las cuales estos dos espesores se igualan. En suelos granulares no expansivos se lo determina para una densidad considerada igual a la obtenida en la compactación normal de la construcción. Este valor de densidad se obtiene de los resultados de los ensayos de presión de exudación.

El método de ensayo para determinar el valor R consiste en:

1. Preparación de las muestras;
2. Compactación de las probetas de ensayo;
3. Determinación de la presión de exudación de las probetas de ensayo;
4. Determinación de la presión de expansión de las probetas de ensayo y
5. Determinación del Valor R.

Preparación de las muestras

El ensayo de valor R se hace con muestras relativamente pequeñas y es necesario eliminar todo el material de mayor tamaño. Si el 75 por ciento o más del material pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg), se elimina el material retenido en el mismo. Si menos del 75 por ciento pasa este tamiz, se saca todo el material retenido en el de 25,00 mm (1 pulg). Se separa el suelo sobre el tamiz de 4,75 mm (Nº4) pero se lo recombina con los tamaños gruesos en las proporciones adecuadas para obtener muestras de 1200 grs. más un adicional de 200 g. para determinaciones de contenido de humedad.

En cada ensayo de valor R, se preparan cuatro probetas con diferentes contenidos de humedad. Cada una tiene 1/2 a 2/3 de la cantidad de agua necesaria para saturarla o para que exude humedad entre 690 a 5500 KPa (100 y 800 psi). Luego de mezclado, se deja el material suelto en un recipiente cubierto durante una noche para que se cure. Se le agrega más agua y se lo mezcla hasta que alcance la humedad de saturación estimada. La primera probeta se usa como muestra piloto para poder obtener alturas de $6,35 \pm 2,5$ mm ($2,5 \pm 0,1$ pulg) en las demás y para tener presiones de exudación tanto superiores como inferiores a 2070 KPa (300 psi).

Compactación de las probetas de ensayo

Para compactar las probetas se usa un compactador-amasador (Figura 7), igual al usado por el método Hveem para diseño de mezclas asfálticas. El procedimiento de compactación consiste en

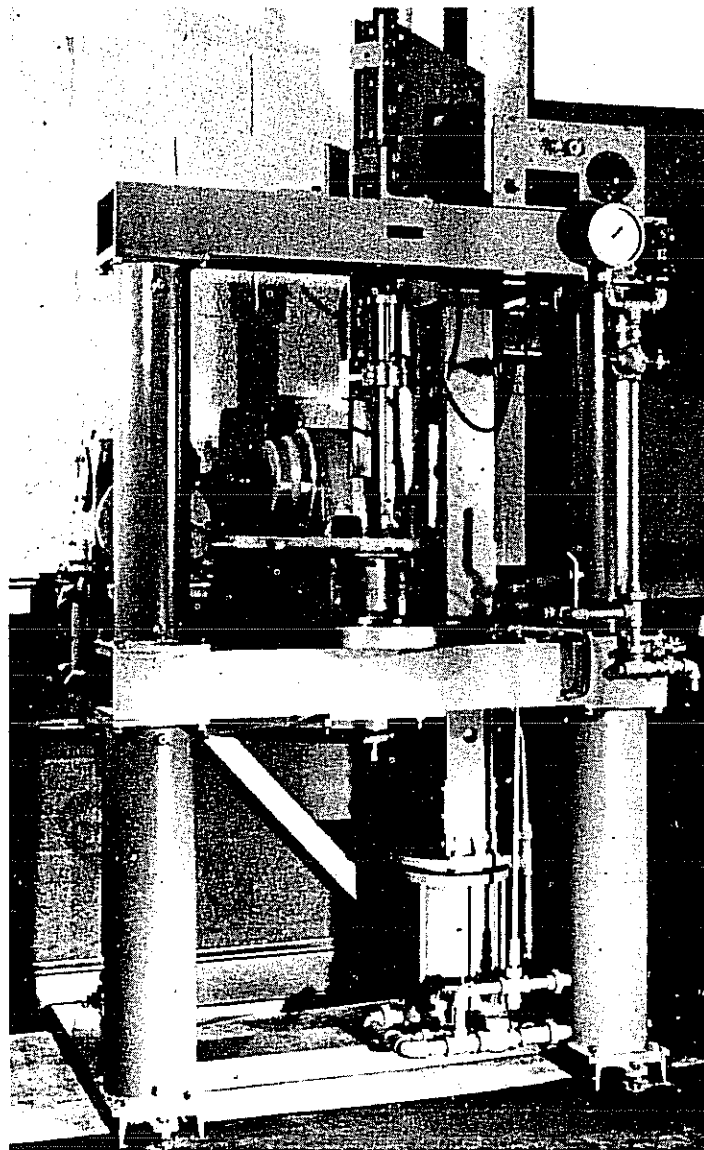


Figura 7. Compactador mecánico

un amasado para darle a las partículas de suelo la misma orientación y presión de contacto obtenidas durante la compactación en obra.

La muestra de suelo preparada se distribuye uniformemente a lo largo de toda la canaleta de alimentación del apisonador (Figura 8). Se ajusta un molde de 101,6 mm (4 pulg) de diámetro y 127 mm (5 pulg) de altura en una base especial para ponerlo en el compactador. Se deposita el material en el molde por un procedimiento especial, con el amasador en funcionamiento y una presión en su pisón de 1720 KPa (250 psi):

Cuando se haya colocado todo el material en el molde, se aplican 10 golpes extras para nivelarlo y asentarlos. Se compacta la muestra con 100 golpes a una presión en el pisón de 1720 KPa (350 psi).

Algunas arcillas y arenas limpias necesitan presiones de compactación más bajas. Puede ser necesario suavizar y nivelar la superficie apisonada, si está despareja.

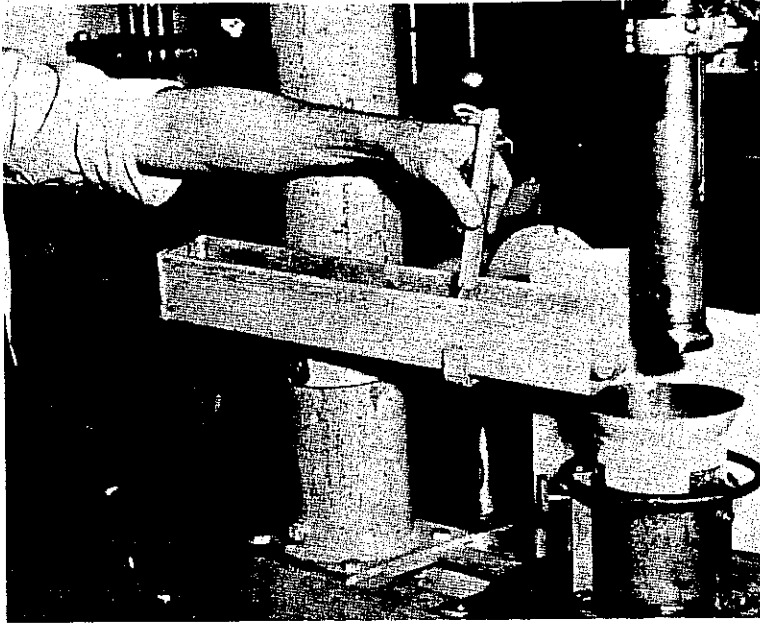


Figura 8. Colocación del suelo en el molde desde la canaleta de alimentación del compactador

Determinación de la presión de exudación

El ensayo de presión de exudación sirve para determinar la carga de compresión necesaria para que la muestra compactada exuda agua. Para determinar el valor R a una presión normalizada de 2070 KPa (300 psi) se usan los resultados de ensayos de varias muestras.

En este ensayo se coloca un disco de bronce sobre la muestra apisonada en el molde y sobre éste, un papel de filtro. Se invierte el conjunto de forma tal que el papel quede en el fondo. Antes de ubicar el conjunto en la máquina de ensayo, se le coloca encima el plato de contacto del indicador de exudación de humedad (Figura 9.)

Mediante un pisón se baja la muestra en el molde hasta el plato de contacto. La máquina de ensayo le aplica una carga a una velocidad de 8,9 KN (2000 lb) por minuto hasta que la exudación haga prender cinco de las seis luces externas del indicador. En ese momento se convierte a psi la carga total sobre la muestra y se la registra como presión de exudación. Si es menor que 690 KPa (100 psi) o más de 5500 KPa (800 psi) se descarta la muestra.

Se deja la probeta en un molde cubierto durante por lo menos 1/2 hora hasta que comience la siguiente parte del ensayo.

Determinación de la presión de expansión

El ensayo de presión de expansión sirve para determinar la presión de expansión que desarrolla un suelo en presencia de agua. Se lo realiza de manera tal que durante el mismo la muestra no ex-

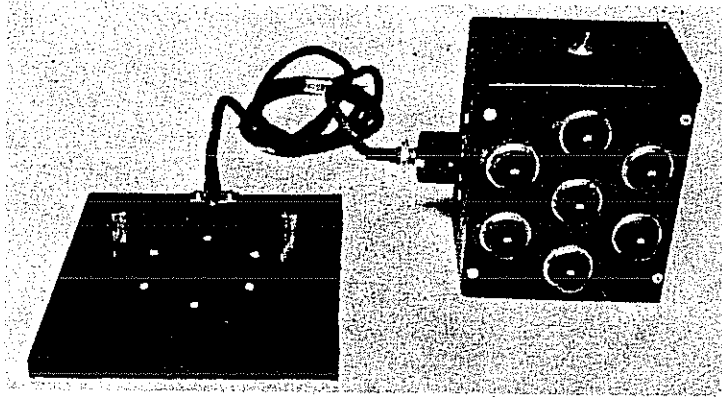


Figura 9. Sistema indicador de la exudación de humedad

perimente un gran cambio de densidad. Se puede determinar el espesor de pavimento necesario para soportar dichas presiones y compararlo con aquellos obtenidos con el ensayo de valor R.

Al finalizar el ensayo de exudación se deja descansar a la probeta al menos durante 1/2 hora. Se coloca una placa perforada de bronce con un vástago sobre la cara compactada de la misma. Se ubica el molde en el dispositivo calibrado de expansión (Figura 10), y se vuelcan 200 ml. de agua. Se deja que se desarrolle la presión de expansión entre 16 y 24 horas, luego se lee la deflexión de la varilla de acero calibrada y se determina la presión de expansión.



Figura 10. Dispositivo para determinar la presión de expansión

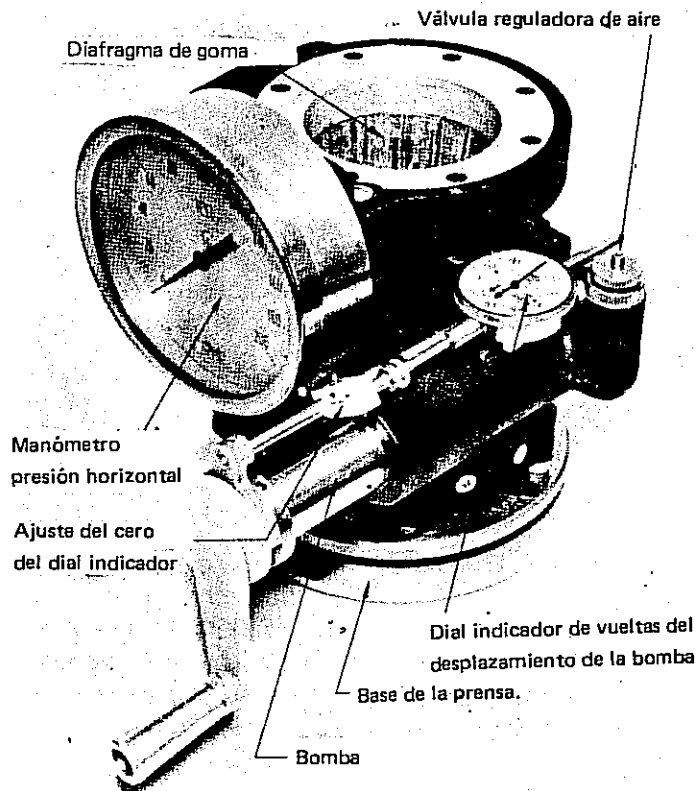


Figura 11. Estabilómetro Hveem

Determinación del valor R

El ensayo del valor R es un medio rápido para establecer una medida de la estabilidad o resistencia a la deformación plástica de materiales compactados usando el estabilómetro Hveem (Figura 11) que sirve también para el diseño de mezclas asfálticas por el método de este nombre.

La probeta, ya ensayada para determinar la presión de expansión, se pasa del molde a un estabilómetro. Se lo ubica en la máquina de ensayo y se hace descender la cabeza de la misma hasta que lo toque, sin aplicar carga. Con la bomba se aplica una presión lateral de 35 kPa (5 psi), se aplica luego una carga vertical creciente con una velocidad de penetración de 1,3 mm (0,05 pulg) por minuto. Se lee la presión horizontal desarrollada cuando la presión vertical alcanza 550 y 1100 kPa (80 y 160 psi).

La carga vertical debe interrumpirse a los 8,9 kN (2000 lb) y se la reduce inmediatamente hasta 4,45 kN (1000 lb). Se ajusta la presión lateral a 35 kPa (5 psi). Se pone en cero el indicador de vueltas y se acciona la bomba de mano a dos vueltas por segundo hasta que el manómetro indique 690 kPa (100 psi). Se registra el número de vueltas. El valor R está dado por la siguiente fórmula:

$$R = 100 - \frac{100}{\frac{2.5}{D} \left(\frac{P_v}{P_h} - 1 \right) + 1} \quad (1)$$

410

donde:

D = número de vueltas del desplazamiento de la bomba,

P_v = 1100 k Pa (160 psi) de presión vertical

P_h = presión horizontal [para una lectura del manómetro de 1100 k Pa (160 psi) de presión vertical]

Valor R de diseño

La determinación del espesor de pavimentos asfálticos se explica en detalle en otra lección. Para determinar el valor R de diseño, sin embargo, se debe usar un ábaco de diseño de espesores.

Se lo usa para determinar el espesor de pavimento necesario — indicado por el estabilómetro — correspondiente a cada uno de los valores R calculados.

Se determina el espesor de pavimento necesario para obtener un peso de tapada suficiente para igualar las presiones de expansión. Se grafican los espesores necesarios determinados por el estabilómetro vs. los espesores por presión de expansión (Figura 12) y se anota el espesor para el cual la curva se interseca con la línea de equilibrio a 45 grados (0,785 rad). Luego se grafica el espesor del pavimento (con los valores R del estabilómetro) vs. las presiones de exudación de tres muestras. Se determina el espesor en la intersección de la curva con los 2070 k Pa (300 psi).

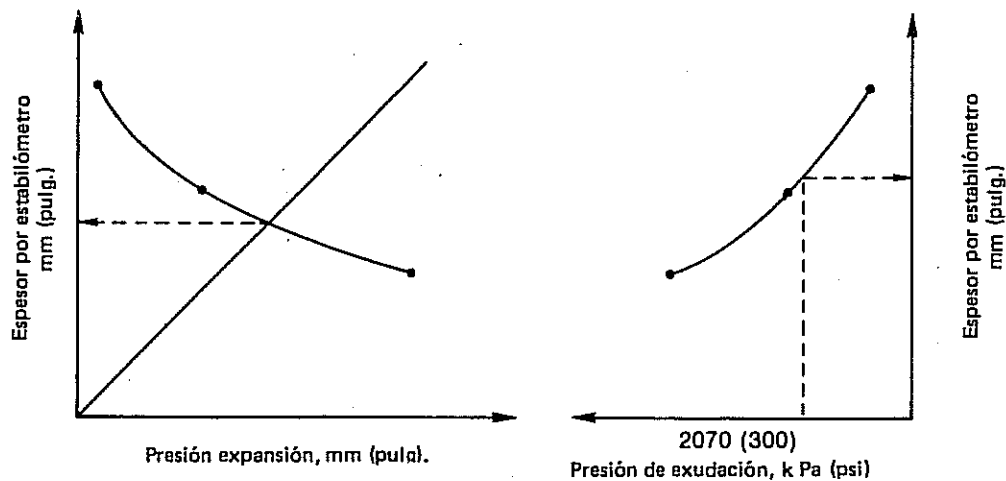


Figura 12. Graficación de los resultados de ensayos de laboratorio y de los espesores de pavimentos necesarios para determinar el valor R de diseño

Se comparan estos dos espesores. Con el valor mayor se entra en el ábaco de diseño. Siguiendo el camino inverso se determina el valor R de diseño correspondiente.

UIM

METODO DEL MODULO DE RESILIENCIA (Mr)

Generalidades

Este método de ensayo cubre la determinación del módulo de resiliencia de suelos de partículas finas no tratados en condiciones que representan las tensiones en pavimentos sujetos a cargas de ruedas móviles. Los resultados de este ensayo determinan el carácter elástico de una probeta de suelo sometida a una tensión de deformación axial reiterativa de cierta magnitud, frecuencia y duración, mientras la probeta, dentro de una cámara triaxial sufre una presión lateral estática.

Equipo

En la Figura 13 se muestra una tolva triaxial que puede usarse en el ensayo de elasticidad. El equipo es similar a la mayoría de las tolvas comunes, salvo que es más larga porque el equipo para medir carga y deformación está montado dentro de ella. Tiene salidas adicionales para los conduc-

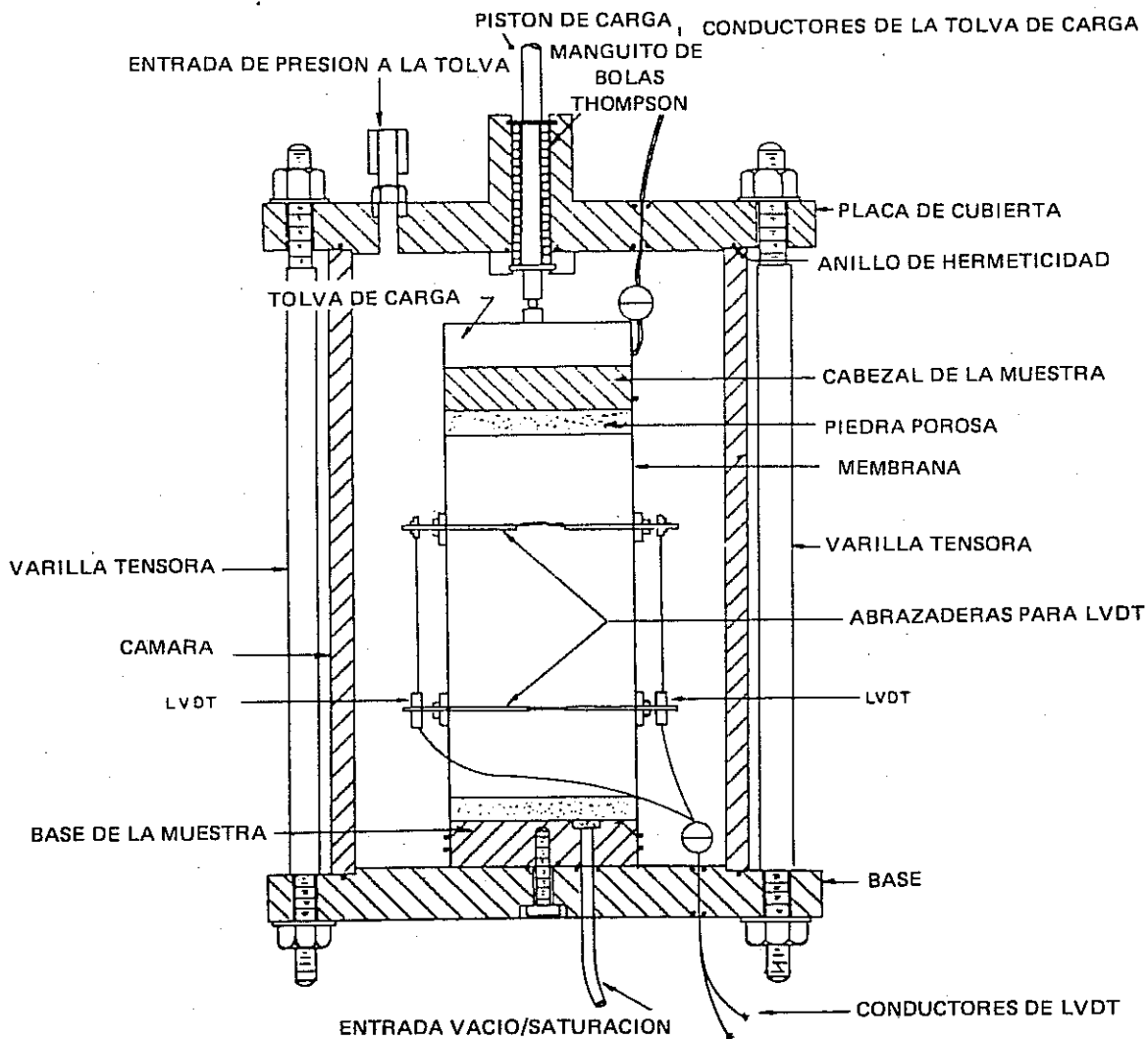


Figura 13. Aparato para determinar el módulo de elasticidad del suelo

412

tores eléctricos de los dispositivos de medición. (También se pueden usar tolvas triaxiales con grupos de medición de cargas y deformaciones externos). En el tipo de equipo que se muestra, se usa aire como fluido.

El equipo para medir deformaciones está formado por Transformadores Diferenciales Regulables Lineales (LVDT) que se sujetan a la muestra por medio de abrazaderas. Para medir la deformación axial se usan dos de estos LVDT. En la Figura 13 se puede apreciar su ubicación en la muestra de suelo.

Es preferible que la carga se mida con una célula de carga colocada entre el cabezal de la muestra y el pistón de carga, como se ve en la Figura 13.

Además de estos dispositivos, es necesario mantener adecuados equipos de excitaciones por señales, acondicionamientos y registros.

Carga

La fuente de carga externa puede ser cualquier dispositivo capaz de producir cargas repetidas variables en ciclos fijos de carga y descarga. Varían entre un control simple de leva y conmutador de pesos estáticos hasta pistones a aire para cerrar sistemas de circuitos electro-hidráulicos. En la mayoría de las aplicaciones conviene una duración de carga de 0,1 seg. y de descarga de 0,4 a 3 segundos.

La presión de confinamiento y la tensión de desviación deben aproximarse al estado de tensiones que se espera *in situ*. En la mayoría de los ensayos, valores de 14 k Pa (2 psi) y 41 k Pa (6 psi), respectivamente, son razonables.

El ensayo se comienza aplicando 200 repeticiones de la tensión de desviación de 21 k Pa (3 psi) aproximadamente, seguida sucesivamente por 200 repeticiones de 41 k Pa y de 62 k Pa (6 y 9 psi). La secuencia de tensiones precedente constituye el condicionamiento de la muestra, esto es, la eliminación de los efectos del intervalo entre compactación y carga, y también los efectos de la carga inicial versus la recarga. La carga de desviación se reduce a 41 k Pa (6 psi), luego se aplican 200 repeticiones de carga y se registra la carga de desviación y la deformación vertical recuperable cercanas a este número de repeticiones. Al terminar la carga, se reduce a cero la presión de la cámara.

Resultados y cálculos

Para registrar los resultados de los ensayos y hacer los cálculos se puede usar la tabla de la Figura 14. Para procedimientos específicos consultar el "Soil Manual", MS-10, The Asphalt Institute.

LECCION 3

DRENAJE DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

Objetivo: Describir las consideraciones a tener en cuenta y los métodos para drenajes superficiales y subterráneos de pavimentos asfálticos.

INTRODUCCION	I39
Necesidad del drenaje	I39
Diseño	I39
DRENAJE SUPERFICIAL	I40
Diseño para calzadas	I40
Diseño para grandes áreas pavimentadas	I43
DRENAJE SUBTERRANEO	I43
Introducción	I43
Diseño	I44
El drenaje y la acción de las heladas	I49
CONSTRUCCION	I52
Canales de drenaje	I52
Instalación de conductos	I52
Construcción de zanjas	I53

TL

Ne

tru
de
vi

d
vir

me
ei
la
ti
er

L

lo

si

tr
ei
l

F

416

LECCION 3

DRENAJE DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

INTRODUCCION

Necesidad del drenaje

Los ingenieros en caminos reconocen la necesidad crítica de un buen drenaje en el diseño y construcción de pavimentos. Probablemente ningún otro factor sea tan importante en la determinación de la aptitud de un pavimento para soportar los efectos del clima y del tránsito y en proveer un servicio sin problemas por largos períodos de tiempo.

En general, en la subrasante, el agua se evapora o drena lentamente. Puede mantenerse indefinidamente, aún en climas secos. También es común que en materiales porosos las depresiones se conviertan en reservas subterráneas, a menos que se las drene.

La mayoría de los suelos de subrasante contienen limo y arcilla, los que pierden soporte al humedecerse. Este debilitamiento se acelera con las vibraciones del tránsito. Si la subrasante no tiene el perfil y la pendiente adecuada para el drenaje, el agua se puede juntar sobre su superficie y bajo las capas de pavimento, causando pérdidas de estabilidad y soporte en la subrasante. Con el tránsito, el suelo húmedo se puede transformar en una pasta barrosa que empuja hacia arriba penetrando en huecos de la capa base de agregados, destruyendo la trabazón entre partículas.

Diseño

Para desarrollar los aspectos más importantes de un sistema de drenaje se deben tener en cuenta los objetivos principales del mismo, que son:

1. Recoger y drenar el agua superficial y subterránea.
2. Impedir o retardar la erosión de terraplenes.
3. Interceptar el agua de las zonas circundantes y conducirlas fuera del área y
4. Hacer descender el nivel freático.

Los problemas de drenaje pueden ser: (a) superficiales o (b) subterráneos. Estos requieren análisis y tratamientos independientes.

El drenaje superficial incluye la evacuación de todo el agua presente en la superficie del pavimento y en el terreno cercano. Debe impedirse que llegue al sistema de subdrenaje. Inevitablemente entra algo de agua en la estructura del pavimento, pero debe ser reducida a un mínimo mediante el mantenimiento adecuado de la superficie.

El drenaje subterráneo implica el control del agua dentro de las distintas capas del pavimento y en el suelo cercano. Esta agua puede ingresar por juntas no selladas, grietas y otras aberturas en la superficie, a través de materiales porosos o desde el terreno subyacente.

El agua subterránea se puede presentar en distintas formas, como:

1. Agua que escurre libremente bajo fuerzas gravitacionales, conocida como "agua libre";
2. Agua que se mueve por fuerzas capilares, conocida como "agua capilar" y
3. Agua en forma de vapor.

Hay diferencias importantes entre el drenaje superficial y el subterráneo. El escurrimiento superficial es, en general, un resultado directo de precipitaciones pluviales o de nieve derretida. El flujo de agua hacia un subdren depende sólo de la permeabilidad del suelo y de las capas del pavimento que atraviesa. El máximo caudal superficial se da aproximadamente una hora después de una tormenta. Mientras que en un subdren (no abierto a agua superficial), puede aparecer algunas horas o hasta días después de una lluvia intensa. Las exigencias de diseño en el primer caso se basan en la cantidad de agua de lluvia o de nieve derretida mientras que en el otro caso, privan la permeabilidad del suelo o del agregado.

DRENAJE SUPERFICIAL

Diseño para calzadas

La protección del pavimento contra la acción del agua superficial se logra con más eficiencia si se pavimenta la totalidad del ancho del camino. Esto significa que la parte lateral del mismo, incluyendo las banquetas debe construirse para brindar una cubierta impermeable que impida que el agua superficial entre por los costados en la estructura del pavimento. Su superficie no debe tener agujeros ni grietas, la junta con la banquina o con la cuneta debe permanecer estanca; y el perfil y la pendiente (abovedado) deben permitir un escurrimiento adecuado. El agua superficial se recoge en el borde del pavimento en zanjas o cunetas (Figuras 1, 2 y 3), que la llevan a terrenos más bajos o a aliviaderos. En los terraplenes, el agua se dirige a sumideros por medio de cordones y rebordes asfálticos en el borde exterior de la banquina.

Si el pavimento no abarca todo el ancho, es difícil mantener una junta estanca con la banquina o la cuneta. Se debe considerar la evacuación del volumen de agua que filtre por la junta.

Las carreteras se construyen con un abovedado o pendiente transversal para facilitar el escurrimiento del agua de su superficie. En el diseño más común, el agua escurre por sobre la banquina hasta una zanja o cuneta en el costado.

El desagüe más efectivo para banquetas es impermeabilizarlas con una superficie asfáltica. Una práctica menos efectiva (pero aceptable) es cubrirlas con un agregado graduado para minimizar la infiltración hacia la subrasante. Para que el escurrimiento sea rápido se realiza un abovedado. La pendiente de la banquina debe ser mayor que la de la superficie de la calzada. Pero en pavimentos con pendientes uniformes, ya sea hacia afuera o hacia adentro, como en las curvas peraltadas, la pendiente de la banquina es la misma que la del pavimento. Las banquetas con césped tienden a eliminar la erosión pero también a mantener húmeda y blanda la subrasante subyacente. Si se deja que la maleza de los costados crezca mucho se forman barreras que impiden el drenaje del agua del pavimento.

Figura 1. Cuneta lateral típica

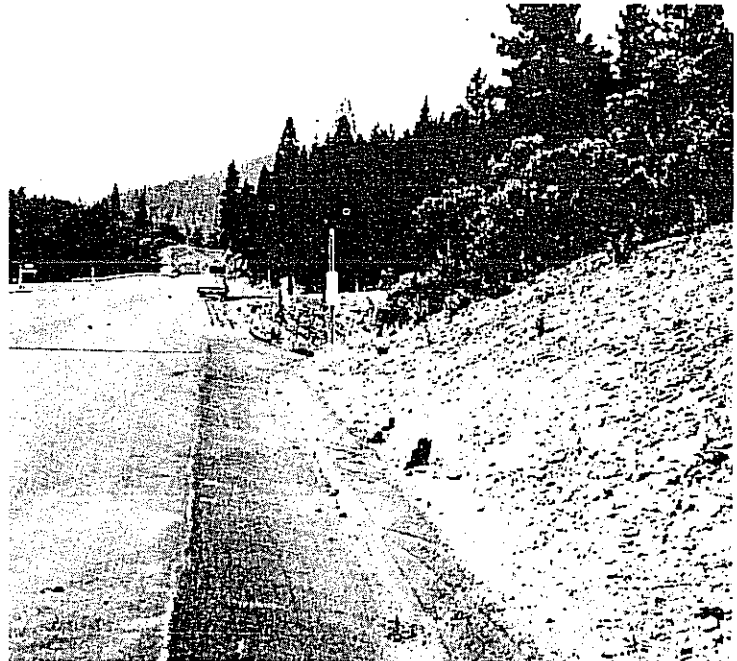


Figura 2. Cunetas laterales que ayudan la eliminación del agua superficial y el drenaje de la capa base

En algunos casos, se puede construir un reborde o cordón de 100 mm (4 pulg) o más de altura, en el borde exterior de la banquina que intercepte el agua y la conduzca a alguna salida conveniente. En este diseño, se perfila el borde del pavimento en forma de canal poco profundo (Figuras 4 y 5) que conduce el agua a bocas de tormenta o a otros canales pavimentados. Los cordones y rebordes deben estar ubicados de manera tal que no interfieran en casos de nevadas para sacar a ésta de la superficie.

Las cunetas reciben el agua de la superficie del pavimento y de los drenajes subterráneos. También, si los terrenos adyacentes tienen pendiente hacia el camino, interceptan el agua que de otro modo llegaría al firme. Para aumentar la capacidad de la zanja es preferible aumentar su ancho y no profundizarla. Generalmente las pendientes laterales varían entre aproximadamente 4:1 en el



Figura 3. Las cunetas laterales pavimentadas no se erosionan

Figura 4. Un reborde que conduzca a una tubería de descarga que lleve el agua bajo el alud, generalmente reduce el mantenimiento de taludes y cunetas

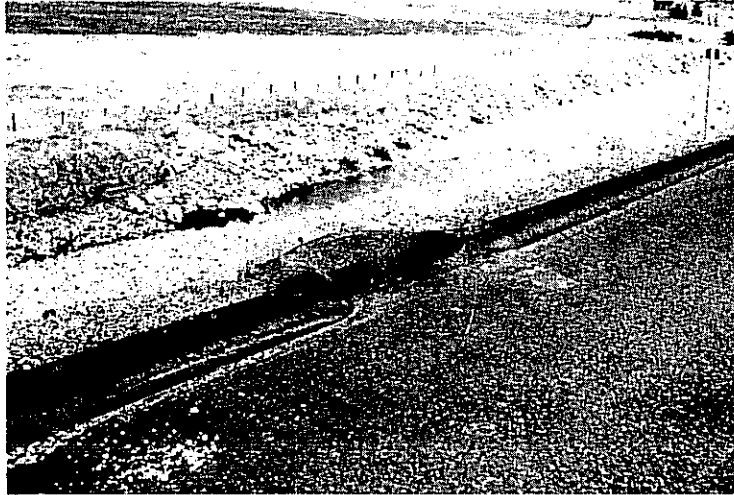


Figura 5. Reborde lateral dirigido hacia una zanja pavimentada

costado de la calzada hasta aproximadamente 8:1 o menos para el talud externo. La cuneta debe ser lo suficientemente grande para desagotar la superficie de aporte correspondiente, con un declive suave, continuo, sin depresiones u hondonadas que junten agua.

En tramos donde el área adyacente está formada por terrenos más elevados que el camino, como en las secciones en desmante, el agua puede fluir hacia la calzada por la superficie o a poca profundidad, por estratos permeables. Esta agua se puede interceptar y sacar construyendo una zanja en la parte superior del desmante o en escalones en el talud del mismo. También son efectivas para eliminar erosión y derrumbes en la ladera.

El agua recogida en cunetas puede descargar directamente en canales naturales o en bocas de alcantarillas. En otros casos, se la puede alejar de la calzada con zanjas especiales.

Una velocidad ideal de flujo debe ser lo suficientemente rápida para impedir el asentamiento de material suspendido pero no tan fuerte que cause erosión o socavación. Un límite aceptable es entre 0,6 m/s (2 pies por seg.) para arena fina o tierra negra recién sembrada y 1,8 m/s (6 pies por seg.) para revestimientos bien cubiertos de césped o de grava gruesa. Si las velocidades son mayores es necesario pavimentar las zanjas para impedir la erosión. El concreto asfáltico es un buen material para la pavimentación de zanjas.

Diseño para grandes áreas pavimentadas

El proceso para diseñar desagües superficiales de playas de estacionamiento es el mismo que para aeropuertos. Se recomienda la publicación "Drenaje de aeropuertos" de la US Federal Aviation Administration, como guía.

Luego de elaborada la planta de la playa y un patrón de estacionamiento eficaz, se diseñan las pendientes de los drenajes evitando que los dueños de los autos caigan en la cuneta al descender de los mismos.

La pendiente debe ser de por lo menos 2 por ciento o 20 mm/m (1/4 pulg por pie) para que no se forme barro en días lluviosos. En terrenos ondulados, no hay problemas para construir los declives; pero en zonas llanas, los valles construidos para drenaje dan lugar a un flujo suavemente ondulado en la zona pavimentada. Se debe calcular el caudal de aporte a las entradas propuestas (Figura 6) en las condiciones existentes de escurrimiento y si es necesario, se debe corregir el espacio para lograr resultados satisfactorios. Para condiciones promedio, una buena separación entre entradas es de 60 a 120 m (200 a 400 pies).

En una pasada de la pavimentadora se puede trazar sólo un contorno fijo, por lo tanto deben evitarse diseños de zanjas o valles serpenteantes que necesiten arreglos a mano, de menor calidad. El trazado debe tender a drenajes que sigan líneas rectas. La pavimentadora debe trabajar paralela a estas líneas cuando coloca la mezcla. Para que el uso de la máquina sea eficiente, las líneas deben ser paralelas a la mayor dimensión del lote.

Si el uso de una pavimentadora no es práctico debido al tamaño o a la forma del área, se hace necesario la colocación a mano. Como el pavimento así logrado no está nivelado como el que se obtiene con la pavimentadora se deben evitar las acumulaciones de agua asignando una pendiente de 4 por ciento o 40 mm/m (1/2 pulg por pie).

DRENAJE SUBTERRANEO

Introducción

El agua subterránea proviene de las precipitaciones o del derretimiento de la nieve, que embeben el suelo y percolan hacia abajo hasta llegar a una capa impermeable. En este punto, el agua puede



Figura 6. Ejemplo de una entrada bien ubicada en una playa de estacionamiento
Las cunetas son pavimentadas.

formar un charco en los espacios huecos del suelo. El nivel del agua subterránea es el nivel freático. Esta agua también puede percolar largas distancias en un manto poroso, confinado entre mantos o estratos impermeables.

Un pavimento poroso o agrietado permite que el agua de lluvia o de nieve derretida penetre en la sección estructural y sature las distintas capas. Luego, esta agua puede drenar pendiente abajo y crear problemas en otras zonas. Esto se puede evitar teniéndolos en cuenta en el diseño de la mezcla y en la construcción. Una base asfáltica densa es particularmente efectiva. Si la sección estructural contiene capas de granulometría abierta, se las debe drenar con tubos u otros medios efectivos para evitar que el agua se junte.

La filtración subterránea, bajo ciertas condiciones, puede desarrollar una carga hidrostática que levante completamente al pavimento de la base, causando grietas y, en casos extremos, la disgregación completa de la estructura. El problema es más grave cuando las pendientes son fuertes. En ese caso el agua se desplaza longitudinalmente, sobre la base no tratada, en la dirección de la pendiente y causa presiones hidrostáticas excesivas en curvas verticales cóncavas o en la parte inferior de curvas horizontales peraltadas. En muchas secciones en desmonte se necesitan también subdrenes longitudinales para impedir que el agua de terrenos más elevados se acumule bajo el pavimento. Si no se intercepta, el agua subterránea de un desmonte puede correr a través de un relleno y causar asentamientos del talud del mismo y agrietamientos del pavimento. Se debe prestar mucha atención a la elección del material de filtro y al diseño del sistema de drenaje, considerando el tipo de material a drenar y el caudal previsible.

Diseño

El cuerpo filtrante puede ser un material granular de una granulometría que impida que las partículas de suelo adyacentes entren en el dren; debe limitarse la permeabilidad. La piedra de drenaje, por otro lado, está formada esencialmente por material de un solo tamaño con una permeabilidad

muy elevada. Sin embargo, se obstruye si se la coloca en ciertos suelos.

Cualquier instalación de drenaje subterráneo debe reunir dos requisitos básicos :

1. Debe tener la capacidad adecuada para evacuar rápidamente toda el agua que entra en la sección estructural del pavimento.
2. Debe mantener su capacidad durante toda la vida del pavimento.

Si se usan piedras de drenaje gruesas de granulometría abierta adyacentes a arena fina o a limo, el flujo de agua va a arrastrar las partículas finas a las piedras y el dren va a perder efectividad enseguida. Por otro lado, si para evitar este problema se diseña material de filtro fino en zonas de flujo intenso, la capacidad filtrante va a ser demasiado baja para desagotar la cantidad necesaria de agua. Con frecuencia ambos materiales, piedras de drenaje y material filtrante, se usan juntos en filtros graduados que combinan elevada permeabilidad con buena protección de los filtros.

Terzaghi propuso un procedimiento de trabajo basado en la granulometría de los materiales para seleccionar las graduaciones del material filtrante. Para evitar que se obstruya debe cumplir que :

$$\frac{\text{abertura del tamiz por el que pasa el 15\% del mat. filtrante}}{\text{abertura del tamiz por el que pasa el 85\% del suelo protegido}} \leq 5$$

y

$$\frac{\text{abertura del tamiz por el que pasa el 50\% del mat. filtrante}}{\text{abertura del tamiz por el que pasa el 50\% del suelo protegido}} \leq 25$$

Para asegurar una capacidad adecuada :

$$\frac{\text{abertura del tamiz por el que pasa el 15\% del mat. filtrante}}{\text{abertura del tamiz por el que pasa el 15\% del suelo protegido}} \geq 5$$

Ademas si se usan tubos perforados la abertura del tamiz por el que pasa el 85 por ciento del material filtrante no debe ser mayor que dos veces el diámetro de las perforaciones del tubo.

Se grafica la granulometría del suelo a drenar en un gráfico semilogarítmico y se determinan los puntos de control para una graduación adecuada del material filtrante (Figura 7). Como guía para esto, 5 diámetros en la escala semilogarítmica son iguales a 2,3 veces el tamaño nominal del tamiz [4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 600 μ m, etc (N^o 4, 8, 16, 30, etc)] y 25 diámetros son iguales a 4,6 veces los espacios entre tamaños normales.

La permeabilidad del material granular filtrante se reduce muy rápidamente al aumentar la cantidad de finos (Figura 8).

Para drenes subterráneos normales, el diámetro de los tubos es de 150 a 200 mm (6 a 8 pulg). Pueden estar perforados o no. En los perforados, los agujeros tienen un diámetro que varía entre 6 y 10 mm (1/4 a 3/8 pulg.) ubicados en dos o más hileras dobles separadas 1,57 a 2,09 rad. (90 a 120 grados) a todo lo largo del tubo.

En desmontes húmedos, si el material encontrado en el corte está estratificado, se puede eliminar el agua de infiltración con drenes interceptores al pie de la ladera (Figura 9). Cabe la posibilidad, sin embargo, que el agua sobrepase el dren apareciendo bajo el pavimento debido a variaciones o curvaturas de las estratificaciones o a zonas de fallas producidas por antiguos movimientos de tierra.

Un medio más efectivo de control es colocar una capa de material permeable de subbase que cubra todo el ancho de la calzada para juntar el agua de infiltración. Este material se puede drenar construyendo una zanja en V poco profunda en el punto más bajo de la sección transversal. Si el caudal de agua previsto es grande, es aconsejable construir un sistema de dos capas para que la capacidad sea mayor.

Si la pendiente es considerable se debe colocar un dren en el extremo inferior del desmonte que intercepte el agua que pudiera afluir longitudinalmente con peligro de saturación de los rellenos y deslizamiento de sus taludes.

Un pavimento de concreto asfáltico de granulometría densa diseñado y compactado adecuadamente es impermeable hasta un grado tal que no tiene problemas de drenaje. Sin embargo, si se usan superficies asfálticas permeables, se debe considerar la colocación de una capa de drenaje en la

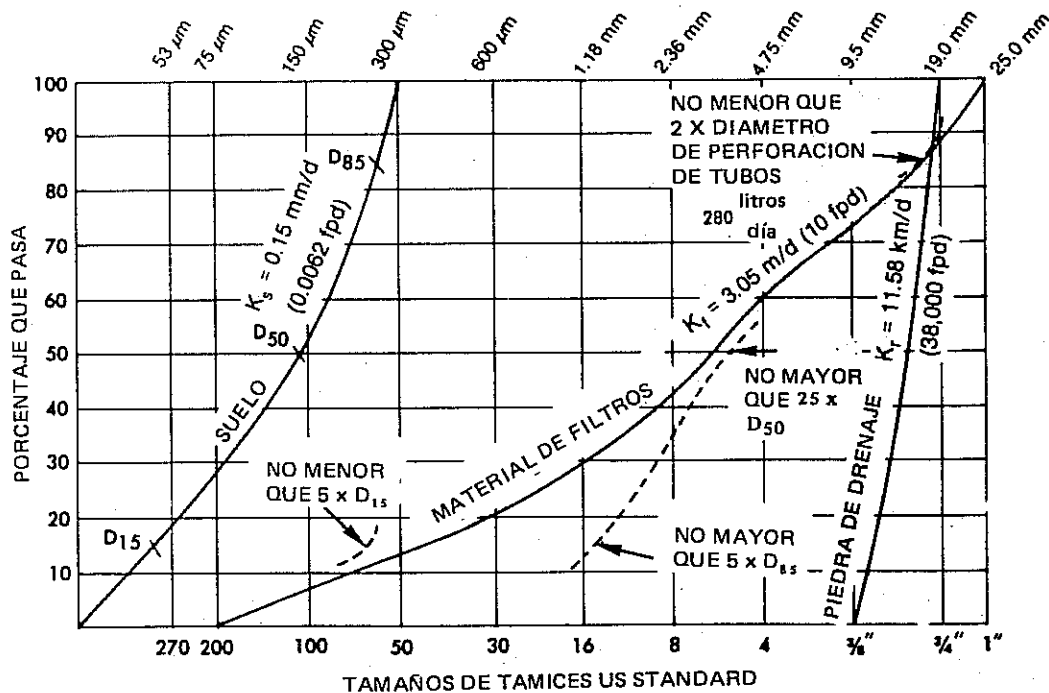


Figura 7. Determinación de la granulometría adecuada para material de filtro

424

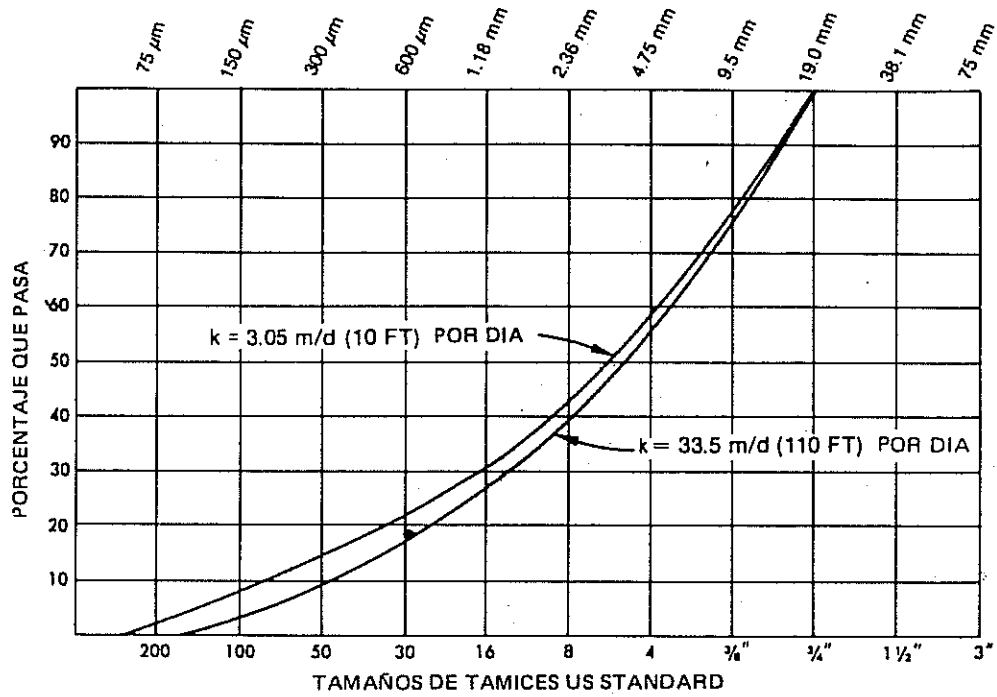


Figura 8. Efectos en la permeabilidad de cambios de granulometría pequeñas.

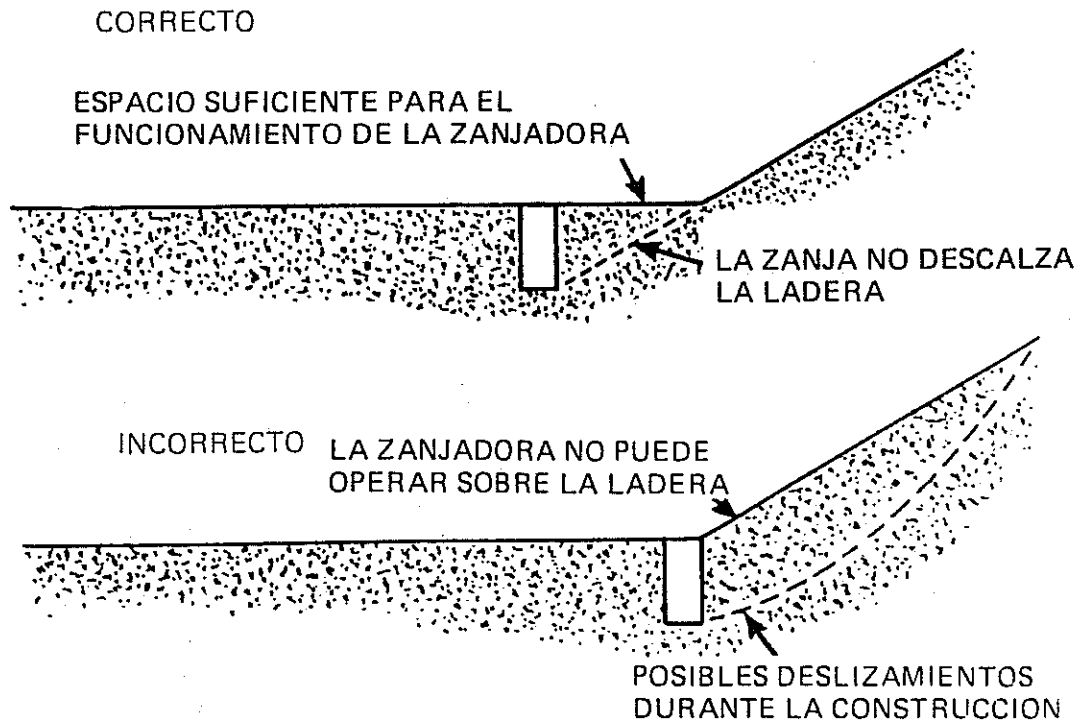


Figura 9. Diseño de la zanja de drenaje.

U75

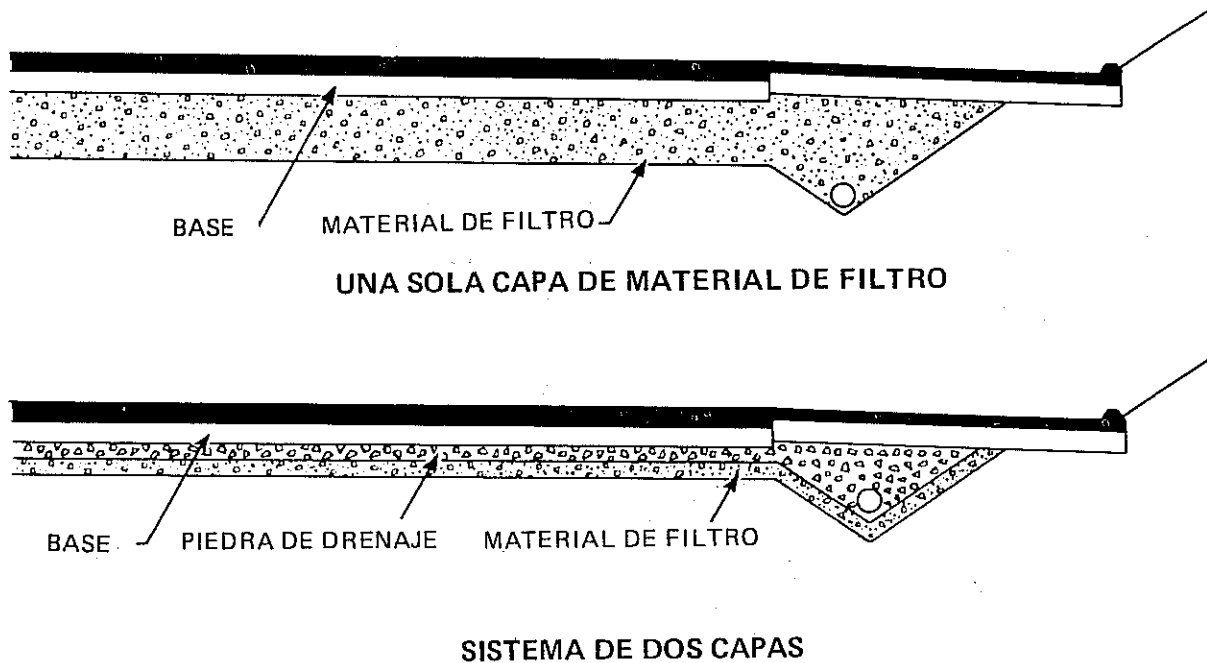


Figura 10. Sistema de drenaje unicapa y bicapa

estructura del pavimento. Esto se debe completar construyendo una capa asfáltica base de granulometría abierta mezclada en planta, conectada apropiadamente a drenajes de salida (Figura 11). Si se deja menos espacio entre estos drenes, se puede reducir el espesor de la capa de granulometría abierta pero además se debe colocar siempre un dren de salida en curvas verticales cóncavas. Este tipo de construcción no debe usarse en zonas con heladas.

Si el nivel freático es elevado, se pueden construir zanjas profundas verticales a ambos lados de la calzada que lo hagan descender por debajo del pavimento. Es mejor y posiblemente más económico en el análisis final, elevar el nivel de la carretera con material granular logrando una separación entre el pavimento y el agua freática.

Si el caudal probable de agua es muy fuerte, se puede adoptar un sistema de drenaje bicapa formado por una capa de material de filtro y una de piedra de drenaje. En un diseño de este tipo pueden presentarse problemas en la compactación de la piedra de drenaje durante la construcción. Esta dificultad se puede superar usando una mezcla abierta elaborada en planta con 2 a 2 1/2 por ciento de asfalto (Figura 12). Esto evita que el material de drenaje se desplace cuando se colocan sobre él las capas bases.

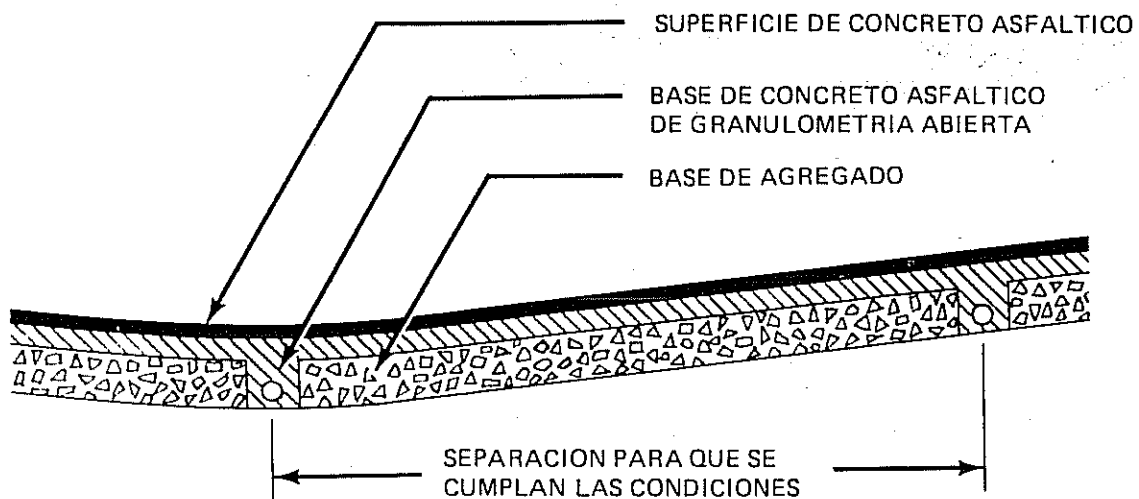


Figura 11. Perfil mostrando los drenes transversales para eliminar el agua de la base de granulometría abierta

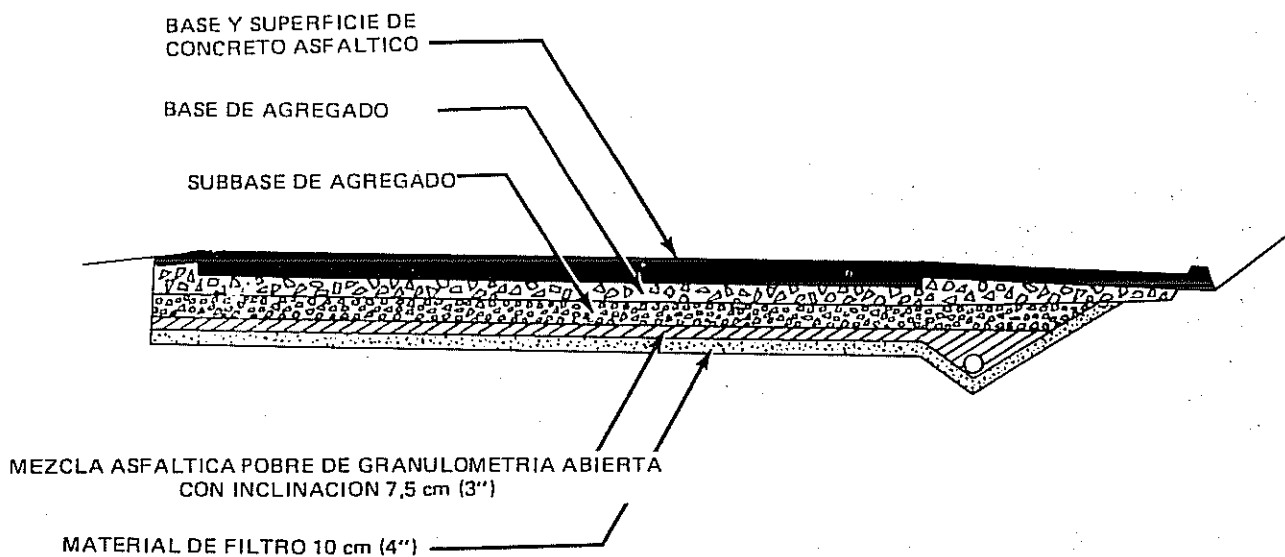


Figura 12. Sección transversal mostrando un sistema de drenaje bicapa que utiliza mezcla asfáltica de granulometría abierta elaborada en planta

El drenaje y la acción de las heladas

Los levantamientos por heladas son un problema real en muchas zonas. Son el resultado de lentejones de hielo que se forman en el suelo y crecen hacia abajo (Figura 13). Su magnitud, en cual-

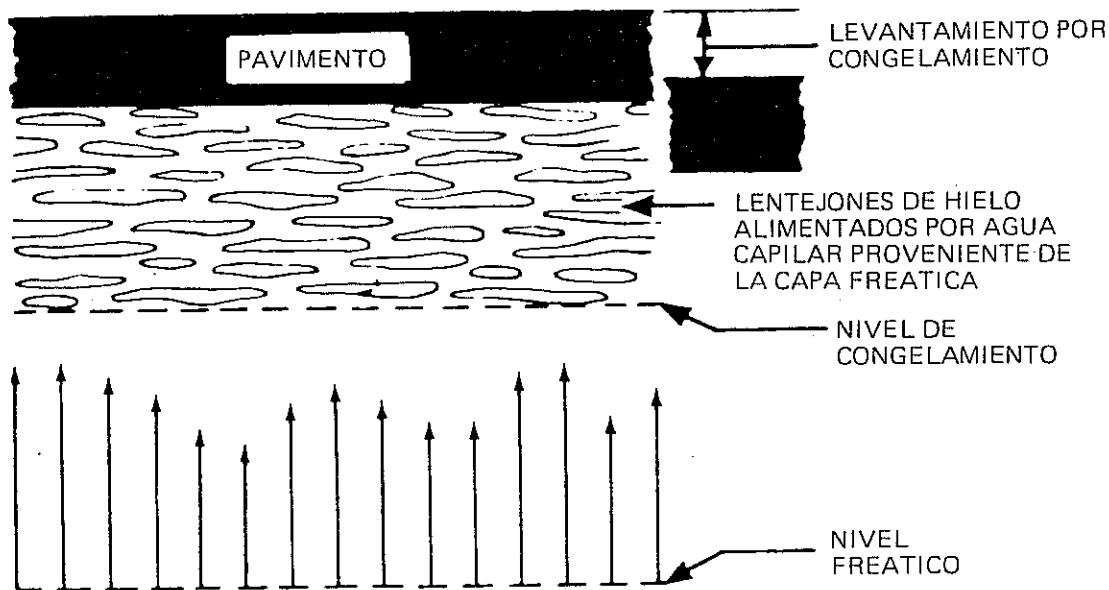


Figura 13. La causa de los levantamientos por congelamiento son los lantejones de hielo que se forman bajo la superficie del pavimento.

quier lugar, depende en gran medida de las condiciones de temperatura y precipitaciones. La acción del congelamiento es peor en un invierno luego de un otoño húmedo. Además, repetidos ciclos de congelamiento y descongelamiento en el comienzo de una estación fría causan grandes levantamientos.

De la Figura 14 se pueden evaluar las condiciones del suelo con respecto a los levantamientos por congelamiento. El US Army Corps of Engineers usa la clasificación agrupada en la Tabla 1 para el diseño de pavimentos con suelos susceptibles al congelamiento. Si el suelo del lugar es una subrasante no levantable, no es necesaria ninguna operación especial. Si es susceptible al congelamiento, se lo debe sacar hasta una profundidad igual a por lo menos la mitad y preferentemente a tres cuartos de la profundidad de penetración del congelamiento normal para el área en consideración. Este suelo extraído debe reemplazarse (excepto en la profundidad de excavación necesaria para la sub-base, base y superficie) con suelo no susceptible al congelamiento. Con este procedimiento no se eliminan por completo los problemas de levantamiento, pero una excavación más profunda no es económica.

Otra posibilidad es extraer, mezclar y recompactar una profundidad conveniente de subrasante para lograr uniformidad. Este método es aplicable en particular cuando se usan bases asfálticas pesadas. Eliminan los levantamientos diferenciales, aunque el camino va a subir y bajar como un todo.

Para prevenir la formación de lantejones de hielo inmediatamente bajo la capa asfáltica, se puede usar una membrana de asfalto ubicada en la estructura junto con una base tratada con asfalto.

El peor efecto de la acción del congelamiento es el debilitamiento de la subrasante durante el descongelamiento. Las condiciones del suelo y humedad que son críticas para el levantamiento también lo son para el descongelamiento.

La mayor pérdida de valor soporte de la subrasante se da cuando a un otoño húmedo sigue un invierno con muchos ciclos de congelamiento - deshielo sin mucha nieve y luego un descongelamiento rápido durante la primavera.

Otro efecto perjudicial del deshielo primaveral aparece en bases granulares sobre subrasantes de partículas finas. Los finos son arrastrados a la base transformando un material de base satisfactorio en un material de baja capacidad de carga. Bajo estas condiciones, es necesario colocar una capa filtro de arena de aproximadamente 150 mm (6 pulg) de espesor.

Los efectos del descongelamiento de la primavera se pueden minimizar usando membranas asfálticas y bases asfálticas tratadas; y, por supuesto, el mantenimiento de un escurrimiento adecuado.

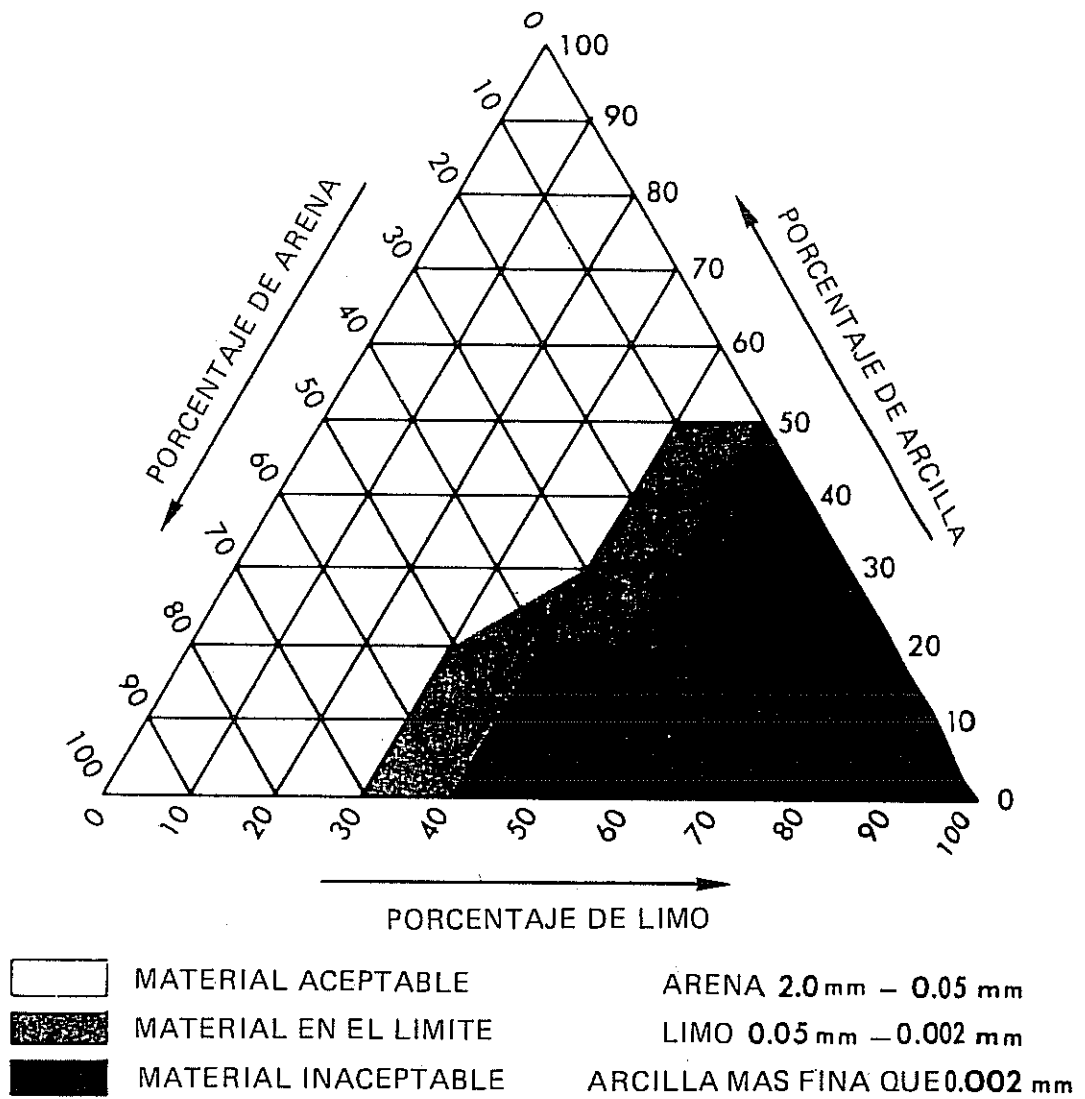


Figura 14. Gráfico que identifica los suelos susceptibles a levantamientos por congelamiento

TABLA 1
CLASIFICACION DE SUELOS PARA EL DISEÑO POR CONGELAMIENTO

Grupo de congel.	Tipo de suelo	Porcentaje mas fino que 0,02mm en peso	Tipos típicos de suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
F1	Ripiosos	3 a 10	GW, GP, GW-GM, GP-GM
F2	(a) Ripios (b) Arenas	10 a 20 3 a 15	GM, GW-GM, GP-GM SW, SP, SM, SW-SM
F3	(a) Ripios salvo arenas (b) Arenas, limosas muy finas (c) arcillas, IP > 12	<20 <15 —	SP-SM GM, GC SM, SC CL, CH
F4	(a) todos los limos (b) arenas limosas muy finas (c) arcillas, IP < 12 (d) arcilla estratificada y otros sedimentos de grano fino	— <15 — —	ML, MH SM CL, CL-ML CL, CL-ML; CL & ML & SM; CL, CH & ML; CL CH, ML & SM

* Linell, K.A. et al, "Corps of Engineers' Pavement Design in Areas of Seasonal Frost", Registro N°33 del Highway Research, Pág. 95. Oct. 1963, Washington, D.C..

CONSTRUCCION

Canales de drenaje

Un drenaje efectivo durante la construcción elimina, con frecuencia costosas demoras y fallas posteriores por saturación de la subrasante. Los canales de drenaje deben construirse durante las operaciones de conformación, antes que la erosión produzca daños. Los taludes se deben proteger tan pronto como sea posible para disminuir el riesgo de que el suelo erosionado tape los canales y estructuras de drenajes existentes y recién construídos. Se los puede cubrir con un tratamiento asfáltico que retenga la humedad o con una membrana de riego asfáltico.

Los canales revestidos con concreto asfáltico deben terminarse con la pendiente y sección transversal especificada. Deben tener el espesor de proyecto, con una variación permitida de hasta un 15 por ciento. Dicho espesor se fija en función del uso y los esfuerzos, pero la experiencia práctica indica un espesor mínimo terminado de concreto asfáltico de 40mm (1 1/2 pulg).

Para colocar las mezclas asfálticas en taludes laterales, en secciones curvas y en ángulos y rincones así como también en planos lisos, se usan terminadoras comunes, cajas distribuidoras, métodos manuales o pavimentadoras especiales de encofrado deslizante. El revestimiento se debe compactar cuidadosamente con rodillos de acero livianos y vibratorios.

Los taludes laterales deben ser lisos, con una pendiente máxima de 1 1/2 :1, permitida hasta los 3 m. (10 pies) de profundidad.

Se debe limpiar cuidadosamente la subrasante para eliminar todo el material orgánico y suelto. Si las condiciones son favorables para que crezcan malezas u otras plantas se debe tratar al suelo con un producto especial para esterilizarlo antes de colocar el revestimiento asfáltico.

El suelo debe estar suficientemente compactado para mantener su estabilidad, particularmente en los taludes laterales. Si es necesario, también se lo debe desbastar antes, durante o después de la compactación para hacerlo suave y uniforme.

Instalación de conductos

La excavación de todas las zanjas y canales debe hacerse con el trazado y la pendiente reales para que los sistemas de drenaje funcionen como se los diseñó. El cuadrante inferior del cuerpo del conducto debe estar completa y uniformemente apoyado en una fundación estable. Una buena práctica consiste en excavar algunos milímetros (pulgadas) por debajo de la línea de la pendiente y

hacer un lecho de grava, piedra triturada o arena, para el tubo. En la Figura 15 se ven lechos comunes para conductos.

Todas las juntas deben estar fijadas firmemente y centradas. Para la unión de las secciones se debe seguir las instrucciones del fabricante.

La resistencia de cualquier estructura de drenaje depende en gran medida de un relleno apropiado. Para obtener capacidad de carga máxima e impedir el lavado y el asentamiento, el drén tiene que ser de buen material, colocado correctamente y compactado cuidadosamente.

El relleno se debe colocar compactándolo cuidadosamente en capas uniformes de 150 mm (6 pulg) a ambos lados del tubo. Para tubos de diámetro menor que 300 mm (12 pulg), la profundidad de la primera capa no debe ser mayor que la mitad del diámetro del tubo. Este método cuidadoso de rellenar debe seguirse hasta por lo menos 300 mm (1 pie) sobre la parte superior del tubo. Por encima, las capas no deben exceder los 200 mm (8 pulg) y se las debe compactar a la densidad especificada.

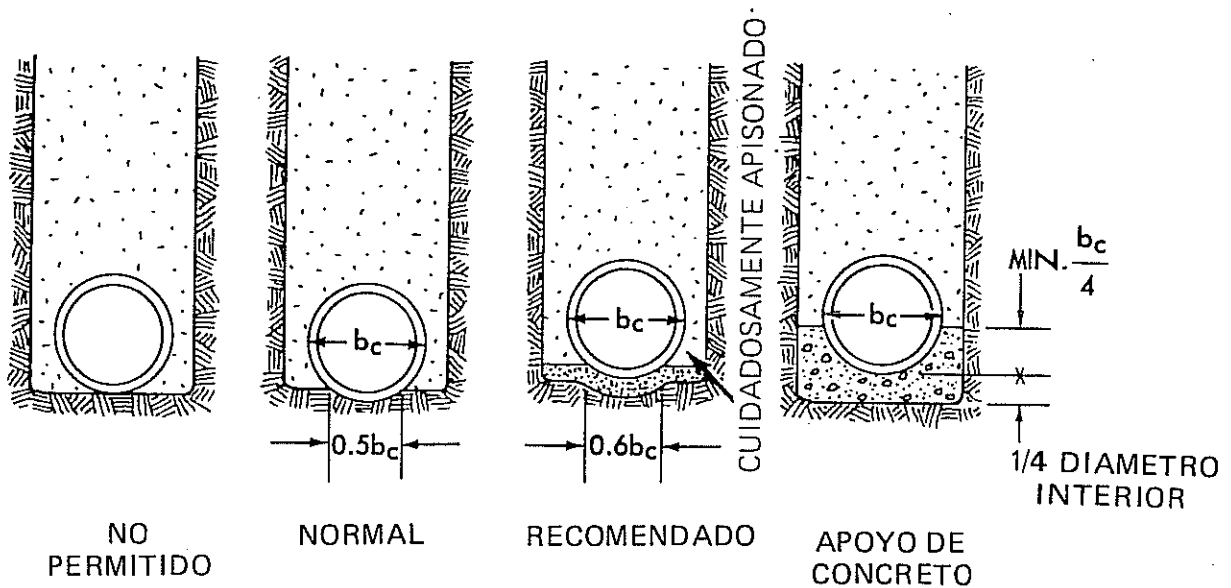


Figura 15. Lechos típicos para conductos en zanjas.

Construcción de zanjas

La construcción de drenes de zanja depende de las condiciones existentes, como : tipo de suelo, cantidad de agua presente y función que debe desempeñar. Si es posible se debe diseñar el dren de modo de facilitar su construcción usando los equipos disponibles normalmente en un proyecto.

Para drenes poco profundos de 0,3 a 0,6 m (1 a 2 pies) de profundidad -empleados para sacar el agua de las capas de base o de la de drenaje bajo el pavimento- las zanjas en V son las más prácticas. Este perfil es el más adecuado para la eliminación del agua y facilita la colocación del tubo y del material de relleno. Esto es particularmente válido cuando el proyecto necesita un dren bicapa. También son necesarias para arenas acuíferas porque este material no se mantiene en taludes empinados. La zanja puede construirse con una motoniveladora - equipo normalmente disponible.

En los drenes profundos, empleados para interceptar el agua de una capa permeable o para hacer bajar el agua en suelos uniformes, normalmente lo más económico será una zanja de paredes verticales (porque el volumen de excavación es menor). Si el terreno es inestable, para profundidades mayores de 0,6 a 0,9 m (2 a 3 pies) se necesitan apuntalamientos. En drenes bicapa, para evitar la mezcla de los dos materiales, el relleno se coloca a mano.

T.)

N.)

a.
co
ei

s
l.
n^e

Br.

1917

432

TEMA J

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

Nota para el Instructor

El diseño de la estructura del pavimento asfáltico, ya sea para una calzada o para la pista de un aeropuerto, no es necesariamente una responsabilidad del técnico civil. Sin embargo, interviene en consideraciones que influyen en el diseño final. Por ello es favorable que conozca en qué consiste el diseño de pavimentos asfálticos.

El procedimiento que se describe aquí se basa en la aplicación de la teoría de la elasticidad al diseño de pavimentos utilizando los resultados de investigaciones comúnmente aceptables, avances en la tecnología de la pavimentación asfáltica, conocimientos sobre las propiedades de los materiales y necesidades actuales del sistema de carretera.

BIBLIOGRAFIA

1. *Thickness Design - Asphalt Pavements for Highways and Streets*", MS-1 Novena edición, 1981. The Asphalt Institute.

434

434 434

LECCION 1

ANALISIS DEL TRANSITO PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS

Objetivo: Describir el método de análisis del tránsito del Asphalt Institute usado en el diseño de espesores de pavimentos asfálticos integrales (full - depth), para carreteras y calles.

ANALISIS DEL TRANSITO	J 5
Introducción	J 5
Estimación y evaluación del tránsito	J 5
Cargas de tránsito	J 6
Crecimiento del tránsito	J 6
Determinación del EAL de diseño	J 7

435 436

LECCION 1

ANALISIS DE TRANSITO PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS

ANALISIS DEL TRANSITO

Introducción

El propósito de esta lección es presentar métodos para determinar factores de tránsito apropiados para el procedimiento de diseño estructural descrito en la Lección 2.

Estimación y evaluación del tránsito

Obviamente no hay datos de tránsito disponibles para aplicarlos directamente en un nuevo pavimento. El proyectista debe valerse de los estudios de tránsito realizados para casos similares y estudios de planeamiento comunitarios o regionales para ayudarse en el diseño.

El análisis de tránsito utilizado en este procedimiento necesita estimaciones del número de vehículos de distintos tipos, como automóviles, ómnibus, camiones, sin y con acoplado, que van a facilitar el estudio. Para el diseño estructural se debe disponer de los censos periódicos de clasificación del tránsito realizados por la US Federal Highway Administration, dependencias de carreteras del estado y otras.

Cuando no se dispone de estos datos, se los puede estimar con la Tabla 1, compilada de datos de censos de camiones realizados por los estados, en cooperación con la US Federal Highway Administration.

TABLA 1 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE CAMIONES EN DISTINTOS TIPOS DE CARRETERAS - ESTADOS UNIDOS¹

Tipo de camión	Promedio de camiones ²				
	Rural interestatal	Otras rurales	Toda rural	Toda urbana	Todos los sistemas
Camiones sin acoplado					
2 ejes, 4 ruedas	39	58	47	61	49
2 ejes, 6 ruedas	10	11	10	13	11
3 ejes, o más	2	4	2	3	3
Total de unidades simples	51	73	59	77	63
Camiones con acoplado					
3 ejes	1	1	1	1	1
4 ejes	5	3	4	4	4
5 ejes o más	43	23	36	18	32
Total de unidades múltiples	49	27	41	23	37
Total de camiones	100	100	100	100	100

¹ Recogido de datos de la Highways Statistics Division, US Federal Highway Administration.

² Las situaciones individuales pueden diferir de estos valores promedio en un 50 por ciento o más

³ En algunos estados, incluye las combinaciones de semirremolques.

437 130

Se elige como carril de diseño aquel en el que se espera el mayor número de cargas por eje simple equivalente a 80 kN (18000 lb). Puede ser tanto uno de los carriles, en carreteras de doble dirección o el carril externo, en las de varios carriles. En ausencia de datos específicos se puede usar la Tabla 2 para determinar la proporción relativa de camiones esperados en el carril de diseño.

TABLA 2 PORCENTAJE DEL TRANSITO TOTAL DE CAMIONES EN EL CARRIL DE DISEÑO

Número de carriles de tránsito (2 direcciones)	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35-48) ¹
6 o más	40 (25-48) ¹

¹ Rango probable..

Cargas de tránsito

El tránsito en carreteras y calles varía tanto en número de vehículos como en la magnitud de las cargas. Los límites legales de carga por eje varían de un estado a otro, y, entre las distintas clases de caminos dentro de un mismo estado. Los modelos de tránsito también varían y cambian constantemente como resultado del uso de la tierra. Las condiciones de tránsito circulantes y futuras no se pueden establecer con precisión.

Sin embargo, los efectos acumulativos de las cargas de tránsito son factores muy importantes en el diseño estructural de pavimentos. Se deben evaluar tanto las condiciones iniciales como la forma en que se espera que cambien. Los efectos acumulativos, debido a la infinita variedad de condiciones de tránsito, se deben basar en un común denominador para que su uso en el método de diseño sea práctico. Para los procedimientos subrayados en esta lección se toma la carga por eje equivalente (EAL) como común denominador.

El efecto destructivo de cualquier combinación de cargas por eje de distintas magnitudes se iguala al número de cargas por eje simple de 80 kN (18000 lb) necesarias para producir un efecto equivalente. Esto se conoce como la carga por eje simple de 80 kN(18.000 lb) equivalente (EAL). Por estudios más profundos, se han determinado factores para convertir distintos valores de carga por eje en un número equivalente de cargas por eje simple de 80 kN (18.000 lb) (EAL).

Se denomina Factor de Camión al número de aplicaciones de carga por eje simple de 80 kN (18.000 lb) equivalente al pasaje de un sólo vehículo.

En la Tabla 3 se dan Factores de Camión promedios, típicos para distintas clasificaciones de camiones y carreteras de US.

Crecimiento del tránsito

El pavimento debe ser diseñado para que sirva a las necesidades del tránsito durante un cierto número de años. Por lo tanto se debe predecir el crecimiento del tránsito para determinar las necesidades estructurales del pavimento. Para esta estimación se pueden usar las historias del crecimiento del tránsito para casos similares y los programas de planeamiento comunitarios y regionales.

438

TABLA 3 FACTORES DE CAMION PROMEDIO (TF) PARA DISTINTOS TIPOS DE CARRETERAS Y DE VEHICULOS - (ESTADOS UNIDOS¹)

Tipo de vehículo	Factores de camión promedios ²				
	Rural interestatal	Otras rurales	Todo rural	Todo urbano	Otros sistemas
Camiones sin acoplado					
2 ejes, 4 ruedas	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
2 ejes, 6ruedas	0.19	0.21	0.20	0.26	0.21
3 ejes o mas	0.56	0.73	0.67	1.03	0.73
Total de unidades simples	0.07	0.07	0.07	0.09	0.07
Camiones con acoplado					
3 ejes	0.51	0.47	0.48	0.47	0.48
4 ejes	0.62	0.83	0.70	0.89	0.73
5 ejes o mas ³	0.94	0.98	0.95	1.02	0.95
Total de unidades múltiples	0.93	0.97	0.94	1.00	0.95
Total de camiones	0.49	0.31	0.42	0.30	0.40

¹ Recogido de datos de la Highway Statistics Division, US Federal Highway Administration

² Las situaciones individuales pueden diferir de estos valores promedio en un 50 por ciento o más.

³ En algunos estados incluye las combinaciones de semirremolques.

El crecimiento total no difiere mucho entre carreteras urbanas y rurales. Sin embargo, como los porcentajes medios de crecimiento se basan en el total recorrido por el vehículo (millas), a veces conviene determinar, si es posible, porcentajes de crecimiento separados para camiones y para vehículos de pasajeros.

El crecimiento normal combinado en los Estados Unidos es de aproximadamente 3 a 5 por ciento por año. Sin embargo, nuevos estudios pueden generar incrementos de mayor magnitud. Se han sugerido tasas de crecimiento variables entre 4 y 9 por ciento para carreteras rurales de US y entre 8 y más de 10 por ciento para interestatales. Se debe tener cuidado, al aplicar los factores de crecimiento, de no sobrepasar la capacidad de la carretera, lo que podría dar un diseño conservativo innecesario.

En la tabla 4 se dan Factores de Crecimiento a usar en el proyecto para tener en cuenta el crecimiento. Multiplicando estos factores por el tránsito estimado para el primer año se obtiene el volumen total de tránsito estimado durante el período previsto.

El período de diseño es el número de años contados desde que empiezan a circular vehículos hasta el primer refuerzo o recapado importante.

No se lo debe confundir con la vida útil del pavimento, que se puede extender indefinidamente agregando capas asfálticas cuando sean necesarias, o hasta que otros factores determinen la obsolescencia del pavimento.

Determinación del EAL de diseño

Para determinar el EAL de diseño se deben seguir los siguientes lineamientos:

1. Determinar el número medio esperado en la trocha de diseño de cada tipo de vehículo, durante el primer año de tránsito.
2. Seleccionar de la Tabla 3, un Factor de Camión para cada tipo de vehículo encontrado en el paso 1.
3. Seleccionar de la Tabla 4 un sólo Factor de Crecimiento para todos los vehículos o factores separados para cada tipo de vehículo, según sea más apropiado.
4. Multiplicar el número de vehículos de cada tipo por el Factor de Camión y por el Factor de Crecimiento (o Factores) determinados en los pasos 2 y 3.

5. Sumar los valores determinados en el paso 4 para obtener el EAL de diseño.

La Figura 1. es un ejemplo de una hoja de trabajo mostrando el cálculo del EAL de diseño para una carretera rural de dos trochas siguiendo el procedimiento indicado.

TABLA 4 FACTORES DE CRECIMIENTO¹

Período de diseño años (n)	Tasa de crecimiento anual, porcentaje							
	Sin crecimiento	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.19
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

¹Factor $\frac{(1+r)^n - 1}{r}$, donde $r = \frac{\text{tasa}}{100}$ no es cero.

Si el crecimiento anual es cero, Factor de Crecimiento = Período de diseño.

4.40

Ubicación: carretera rural de dos trochas Período de diseño: 20 años					
Tipo de Vehículo (1)	Numero de Vehículos (2)	Factor del Camión (3)	Crecimiento Porc. Factor (4) (5)		EAL (2) × (3) × (5) (6)
Camiones sin acoplado					
2 ejes, 4 ruedas	73,000	0.02	4	29.8	43,500
2 ejes, 6 ruedas	23,600	0.19	4	29.8	133,600
3 ejes o mas	4,400	0.67	4	29.8	87,800
Total de unidades simples	101,000			Subtotal	264,900
Semirremolques y combinaciones					
3 ejes	16,700	0.47	4	29.8	233,900
4 ejes	7,300	0.66	4	29.8	143,600
5 ejes o más	50,200	0.95	4	29.8	1,142,200
Total de semirremolques, etc.	74,200			Subtotal	1,798,700
Total de camiones	175,200		EAL diseño = Total		2,063,600

(2) Basado en el Tránsito Medio Diario Anual (AADT) = 4000 durante el primer año, 50 por ciento en la trocha de diseño; 10 por ciento de camionetas (2 ejes, 4 ruedas) y 14 por ciento de camiones pesados (2 ejes, 6 ruedas y mayores).

Figura 1. Ejemplo de hoja de trabajo para análisis de tránsito

442

LECCION 2

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA CALZADAS

Objetivo: Describir el método de diseño de espesores del Asphalt Institute para pavimentos asfálticos integrales "full - depth" de carreteras y calles.

INTRODUCCION	J13
Estructura del pavimento asfáltico	J13
Pavimentos asfálticos integrales	J13
PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL	J15
Generalidades	J15
Módulo de resiliencia de la subrasante	J15
Abacos de diseño	J18
Determinación de espesores	J18
CONSTRUCCION POR ETAPAS	J27
Ventajas	J27
Método de diseño	J27

INVESTIGATION OF THE DEPARTMENT OF JUSTICE

The following information was obtained from the records of the Department of Justice...

On the date of the investigation, the following information was obtained...

The following information was obtained from the records of the Department of Justice...

The following information was obtained from the records of the Department of Justice...

The following information was obtained from the records of the Department of Justice...

LECCION 2

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA CALZADAS

INTRODUCCION

Un proyecto adecuado y económico de la estructura del pavimento es tan importante como el de cualquier otra obra de ingeniería. Un pavimento mal proyectado seguramente va a fallar, aunque quizás, no con tanta espectacularidad como en cualquier otro tipo de estructura. Un sobrediseño o una selección de materiales que no sean los más económicos y apropiados es contraria a los principios de la buena ingeniería.

Estructura del pavimento asfáltico

La estructura de un pavimento asfáltico está compuesta por capas de mezclas asfalto-agregado y por capas flexibles entre la construcción asfáltica y la fundación o subrasante.

La subrasante es, finalmente, quien soporta todas las cargas del tránsito. Por lo tanto, la función estructural del pavimento es soportar la carga de la rueda en su superficie, distribuirla y transferirla a la subrasante sin sobrepasar su resistencia o la resistencia interna del pavimento mismo (Figura 1a).

En la Figura 1a, la carga de la rueda, W , se transmite a la superficie del pavimento a través de la cubierta con una presión vertical aproximadamente uniforme, P_0 . El pavimento distribuye esta carga hasta la subrasante de manera que la presión máxima en la misma sea sólo P_1 . Con una elección apropiada de los materiales y un espesor adecuado del pavimento, P_1 será lo suficientemente pequeña para que la subrasante pueda soportarla fácilmente. La Figura 1b muestra la forma general en la que la intensidad de la presión vertical máxima decrece con la profundidad desde P_0 hasta P_1 .

Pavimentos asfálticos Integrales

Los pavimentos asfálticos integrales ("full - depth") son aquellos en los que se emplean mezclas asfálticas para todas las capas situadas por encima de la subrasante o de la subrasante mejorada. Se ubican directamente sobre esta.

Tienen muchas ventajas y una de las más importantes es su capacidad para resistir las tensiones (Figura 2). En la figura 2, la carga de la rueda, W , flexiona la estructura del pavimento generando tensiones de tracción y de compresión. Las mezclas asfalto-agregado resisten estas tensiones mucho mejor que las capas de agregados no ligados, que no tienen resistencia a la tracción. Por lo tanto, las bases asfálticas distribuyen la carga de la rueda sobre áreas más anchas que las bases de material granular no tratado y, como consecuencia será menor el espesor necesario para la estructura.

Además, tienen otras ventajas, como ser una mayor resistencia a los efectos destructivos de la humedad de la napa freática y conveniencia para la construcción.

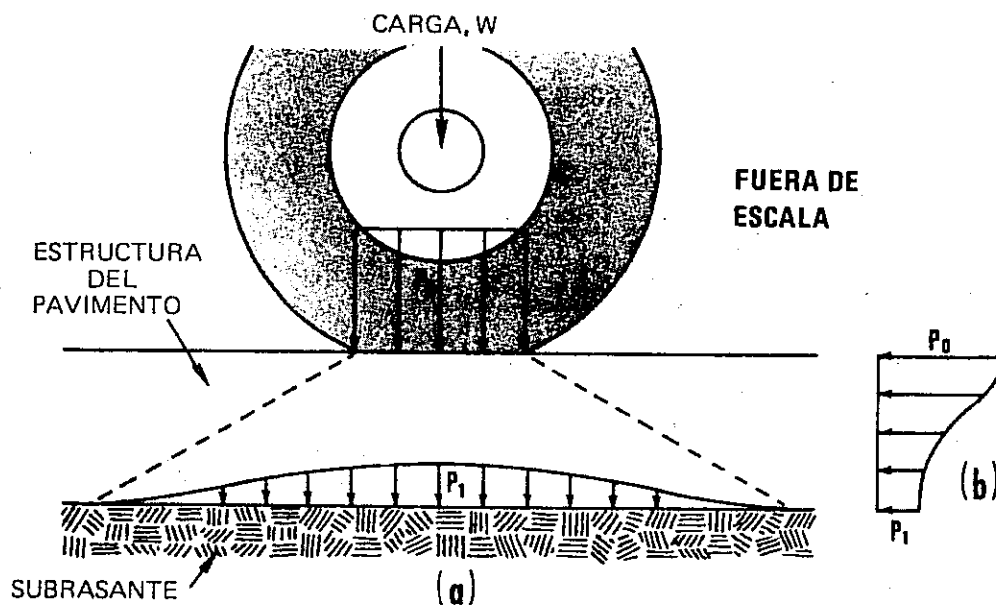


Figura 1. Distribución de la carga de la rueda en la estructura del pavimento.

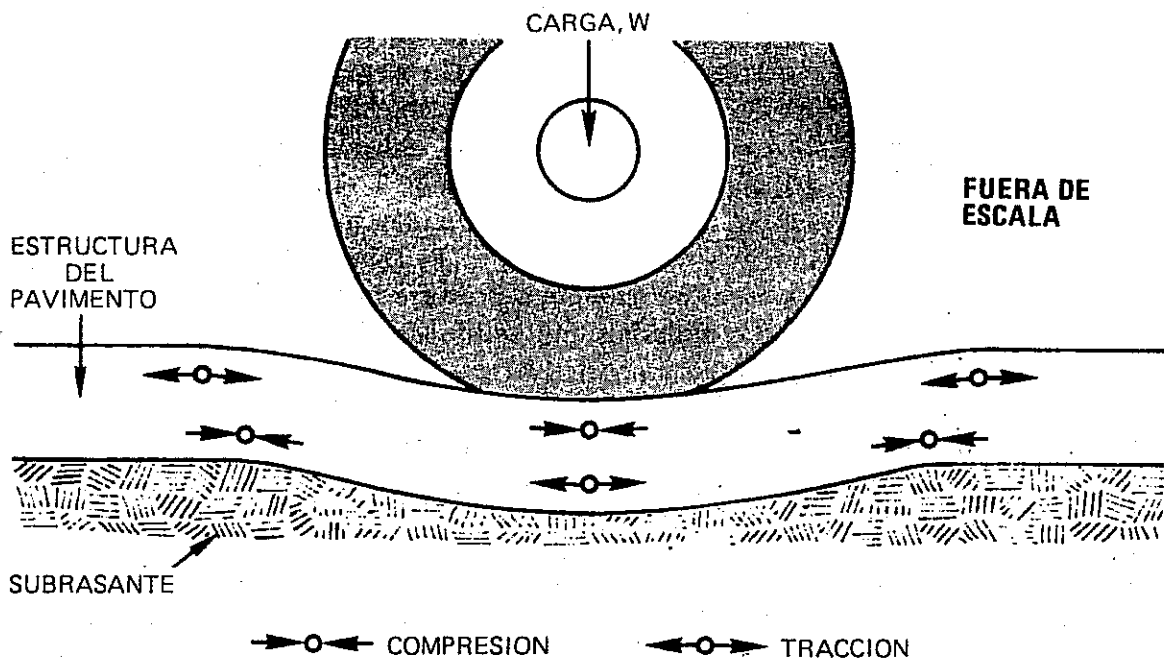


Figura 2. La deflexión debida a la carga de la rueda genera tensiones de tracción y de compresión en la estructura del pavimento

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

Generalidades

El procedimiento de diseño aquí descrito se usa para determinar el espesor de las estructuras de pavimento formadas por una superficie de concreto asfáltico o de asfalto emulsionado (con tratamiento superficiales) sobre una base de concreto asfáltico, de asfalto emulsionado o una base o sub-base de agregados. Los pasos para el diseño son:

1. Seleccionar o determinar los datos de entrada;
 - (a) valor del tránsito, EAL, (Ver "Análisis de tránsito", en este tema)
 - (b) módulo de resiliencia de la subrasante, M_r , (Ver más abajo)
 - (c) tipos de superficie y de base (Ver tema A).
2. Determinar el espesor de diseño para las condiciones específicas descritas por los datos de entrada.
3. Preparar el diseño de la construcción por etapas, si es apropiado. (Ver "Construcción por etapas", en esta Lección).
4. Hacer un análisis económico de las distintas soluciones logradas para el problema planteado (Ver MS-1; consultar la Bibliografía de este tema).
5. Seleccionar el diseño definitivo.

Módulo de resiliencia de la subrasante

Uno de los factores más importantes en el proyecto de pavimentos es la resistencia de la subrasante. Este procedimiento se basa en el uso del módulo de resiliencia, M_r , para definir la resistencia de la subrasante. En el Tema I, Lección 2, se describe el método de ensayo para obtenerlo.

Este valor, M_r , puede estimarse con los resultados de los ensayos del Valor Soporte California (CBR) o por la Resistencia Hveem (valor R), ya explicados en el Tema I, Lección 2. Se pueden obtener valores aproximados de M_r de la siguiente forma:

Relacionándolo con valores del ensayo CBR

$$M_r \text{ (MPa)} \times 10,342 \text{ CBR } \acute{o}.$$

$$M_r \text{ (psi)} = 1500 \text{ CBR}$$

Relacionándolo con resultados del ensayo de valor R

$$M_r \text{ (MPa)} = 7,963 + 3,826 \text{ (Valor R)} \acute{o}$$

$$M_r \text{ (psi)} = 1155 + 555 \text{ (Valor R)}$$

Para determinar el M_r de diseño se recomienda obtener entre seis y ocho valores de ensayos y seguir el siguiente procedimiento.

- (1) Seleccionar el EAL de tránsito para el diseño, acorde con el proceso señalado en esta lección.
- (2) Ensayar entre seis y ocho muestras de la subrasante. Determinar M_r o transformar los resultados de los ensayos CBR o valor R a valor del módulo de resiliencia como se indicó antes.
- (3) Ordenar todos los valores de ensayo en orden numérico.
- (4) Para cada cambio en el valor de ensayo, comenzando con el de menor valor, computar el porcentaje del número total de valores que es igual a, o mayor que.
- (5) Graficar los resultados en un papel cuadrulado.
- (6) Trazar una curva, suave uniendo los puntos graficados. (Nota: si los datos de los ensayos están bien distribuidos, la curva debe tener forma de S y el 50 por ciento debe caer cerca del dato promedio).
- (7) Obtener de la curva el valor de resistencia para el valor porcentual apropiado de diseño de la subrasante, dado en la Tabla 1. Este es el valor de resistencia de la subrasante para el diseño.

TABLA 1 LIMITES DE DISEÑO DE LA SUBRASANTE

Nivel de tránsito EAL	Valor de diseño de la subrasante porcentaje
10 ⁴ ó menos	60
entre 10 ⁴ y 10 ⁶	75
10 ⁶ o más	87.5

Ejemplo: Determinar el Módulo de Resiliencia de Diseño de la subrasante para las condiciones dadas.

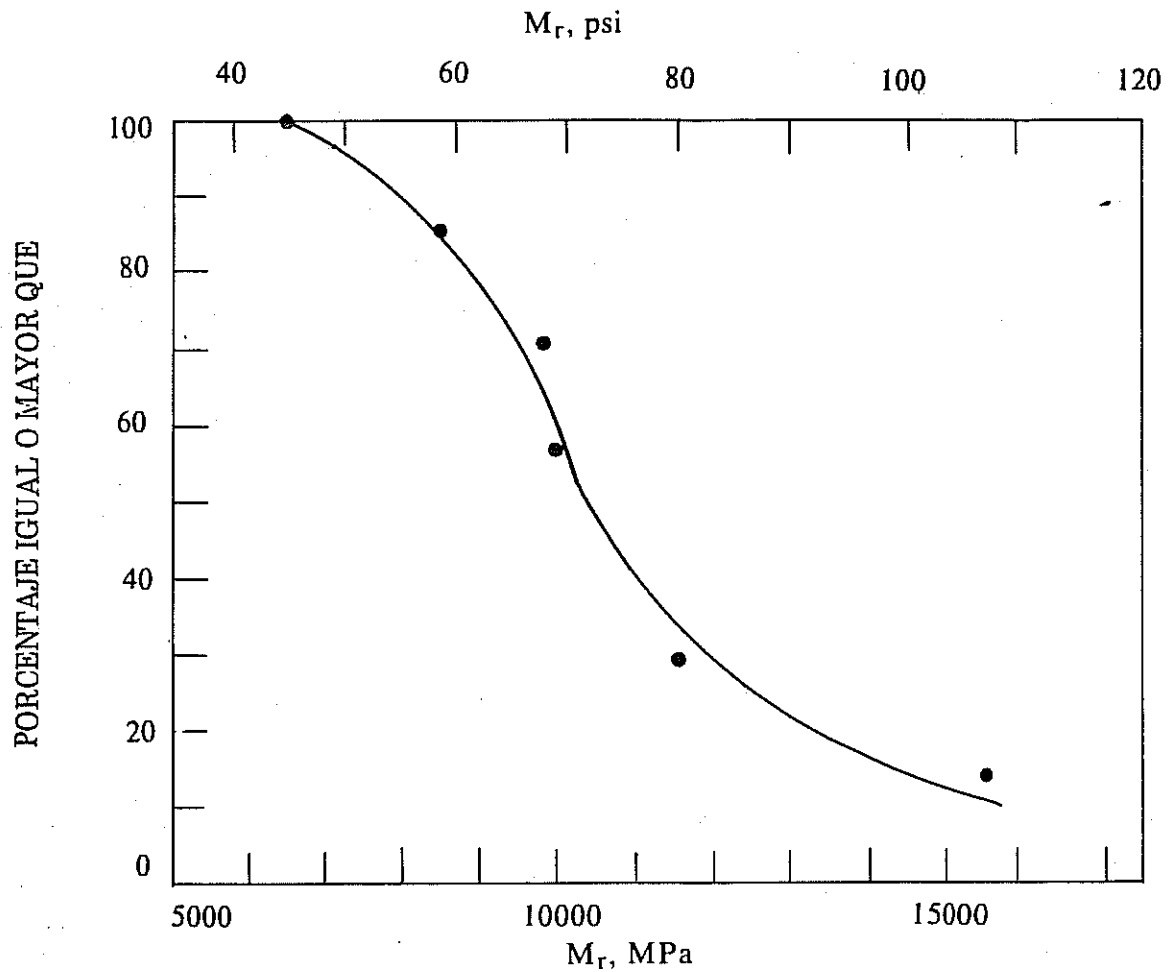
Paso N°

- (1) EAL de tránsito de diseño = 10⁴, 10⁵ y 10⁶.
- (2) Los resultados de siete ensayos dieron los siguientes valores del módulo de elasticidad de la subrasante: 44,8; 58,6; 67,6; 68,3; 68,3; 80,0; 106,9 MPa (6500; 8500; 9800; 9900; 9900; 11600; 15500 psi).
- (3) Se calculan los valores porcentuales como sigue:

Valores de ensayo		Porcentaje igual a o mayor que
MPa	psi	
44.8	6,500	100
58.6	8,500	86
67.6	9,800	71
68.3	9,900	57
68.3	9,900	57
80.0	11,600	29
106.9	15,500	14

448

(4) Graficar los valores de ensayo vs. porcentaje igual o mayor que, como se muestra abajo.



(5) Del gráfico, se seleccionaron valores M_r de diseño de la subrasante para distintos valores de EAL y se los resume abajo.

EAL	Valor porcentual de diseño	M_r de la subrasante de diseño	
		MPa	psi
10^4	60	69.0	10.000
10^5	75	64.1	9.300
10^6	87.5	56.9	8.250

449

Abacos de diseño

En el manual "Thickness Design" (MS-1) del Asphalt Institute hay veinte ábacos de diseño:

1. Concreto asfáltico integral ("full - depth")
2. Mezclas de asfalto emulsionado:
 - Tipo I — Mezclas de asfalto emulsionado hechas con agregados densamente graduados, tratados.
 - Tipo II — Mezclas de asfalto emulsionado hechas con agregados triturados, semitratados, en bruto o sin cribar.
 - Tipo III — Mezclas de asfalto emulsionado hechas con arenas o arenas limosas.
3. Base de agregado sin tratar, 100 mm (4"), 150 mm (6"), 200 mm (8"), 250 mm (10"), 300 mm (12"), y 450 mm (18").

Los ábacos 1 a 6 son ejemplos de los ábacos de diseño para concreto asfáltico integrales, mezcla con asfalto emulsionado Tipo II y base de agregado no tratada de 150 mm (6") de espesor.

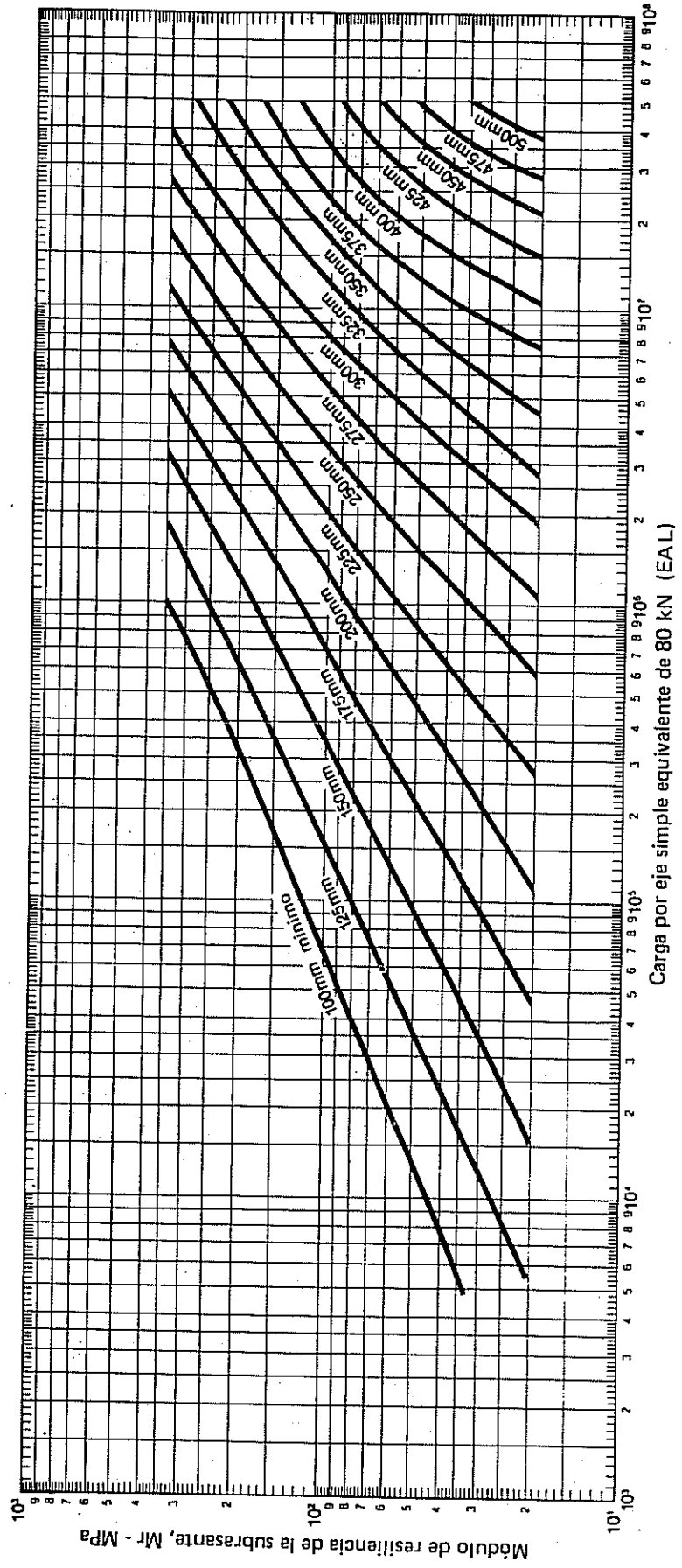
Determinación de espesores

Los ábacos de diseño de espesores pueden usarse para determinar el espesor de una sóla clase de base o de distintos tipo, para comparar costos. Por lo tanto, se deben realizar una o más de las determinaciones de espesores que siguen:

1. Pavimentos de concreto asfáltico integral.
2. Pavimentos con base asfáltica emulsionada,
3. Pavimentos con concreto asfáltico y base de agregados sin tratar o
4. Pavimentos con mezclas asfálticas emulsionadas y base de agregados sin tratar.

Todos los ábacos de diseño tienen una capa superficial de concreto asfáltico. El resto de las capas asfálticas se componen de bases de concreto asfáltico o de mezclas con asfalto emulsionado. Si la superficie de concreto asfáltico y las mezclas para base cumplen con el criterio recomendado para el diseño de la mezcla, tendrán propiedades estructurales similares. Para obtener durabilidad, sin embargo, el espesor mínimo de las Tablas 2 y 3 deben cumplir con el criterio de diseño de la mezcla para capas superficiales.

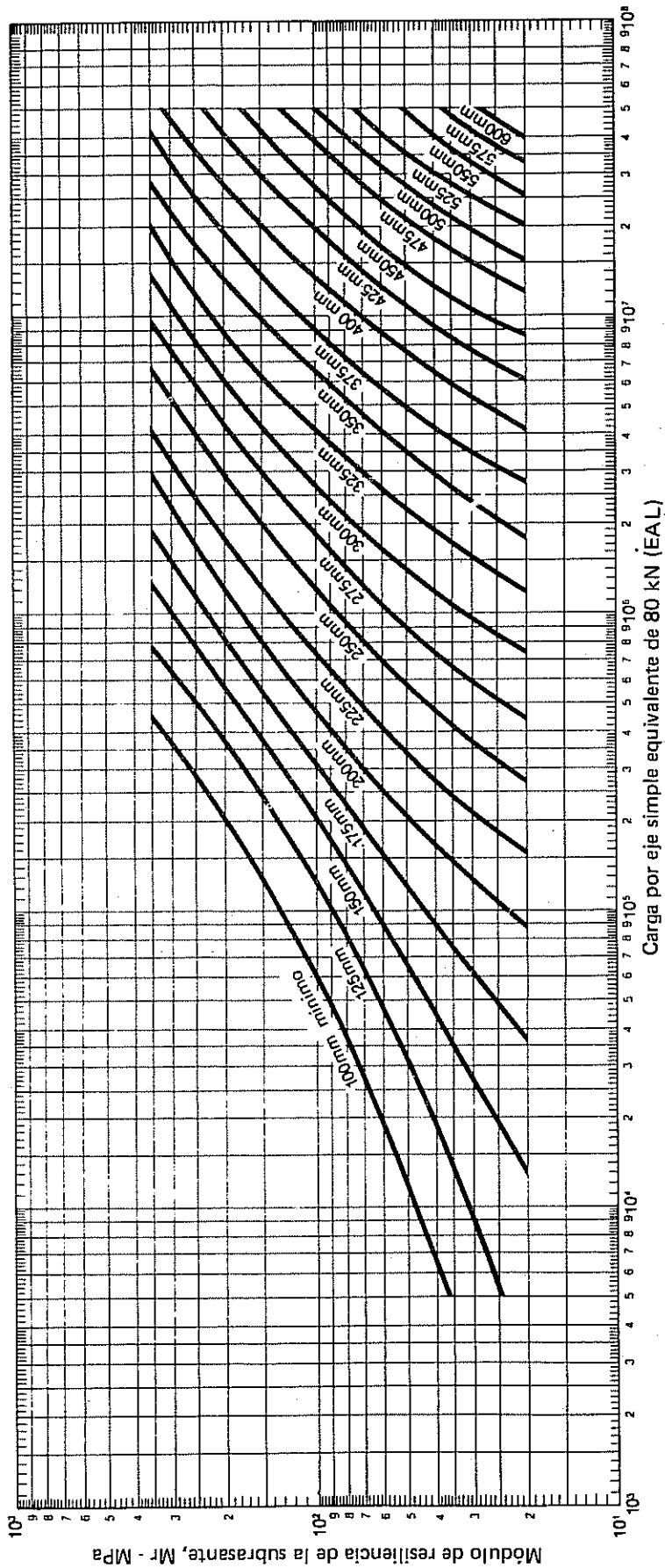
CONCRETO ASFALTICO INTEGRAL



ABACO 1

454

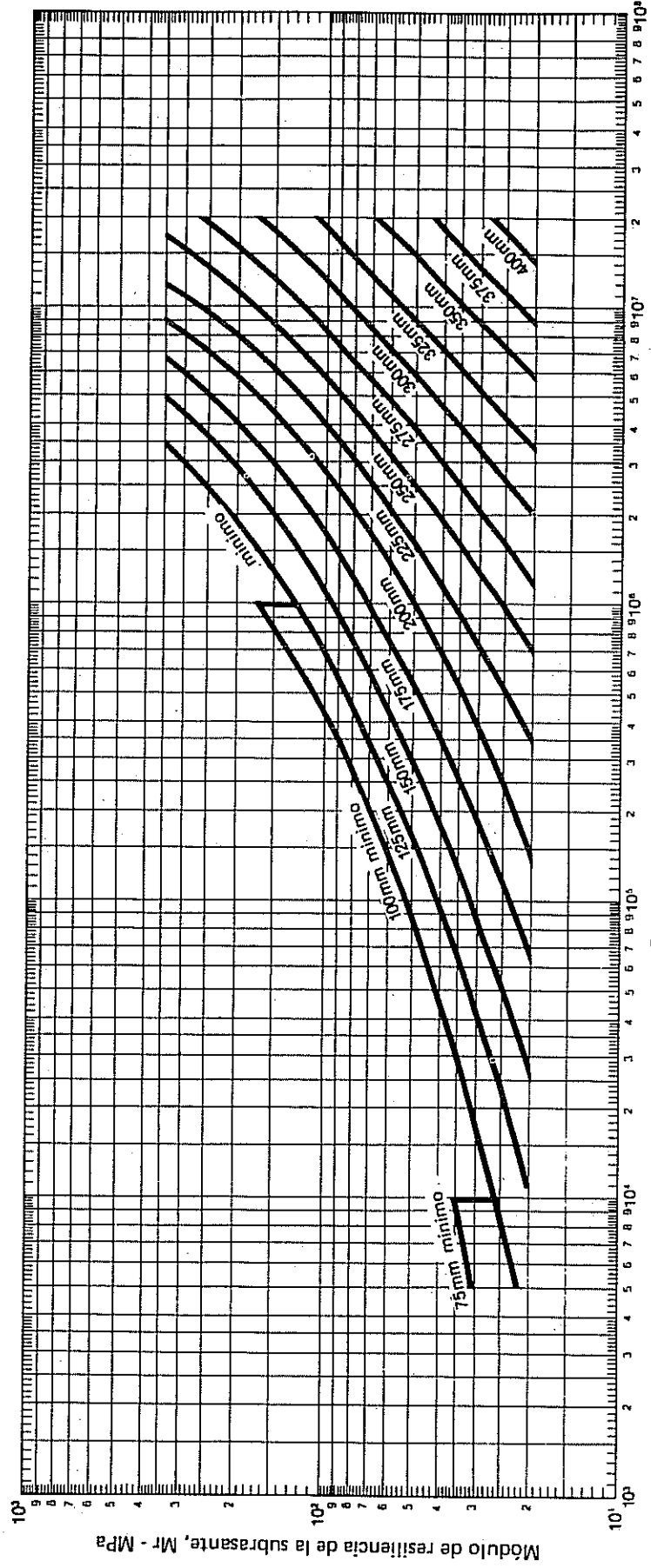
MEZCLA CON ASFALTO EMULSIONADO TIPO II



ABACO 2

25/11/17

BASE DE AGREGADO SIN TRATAR DE 150 mm DE ESPESOR

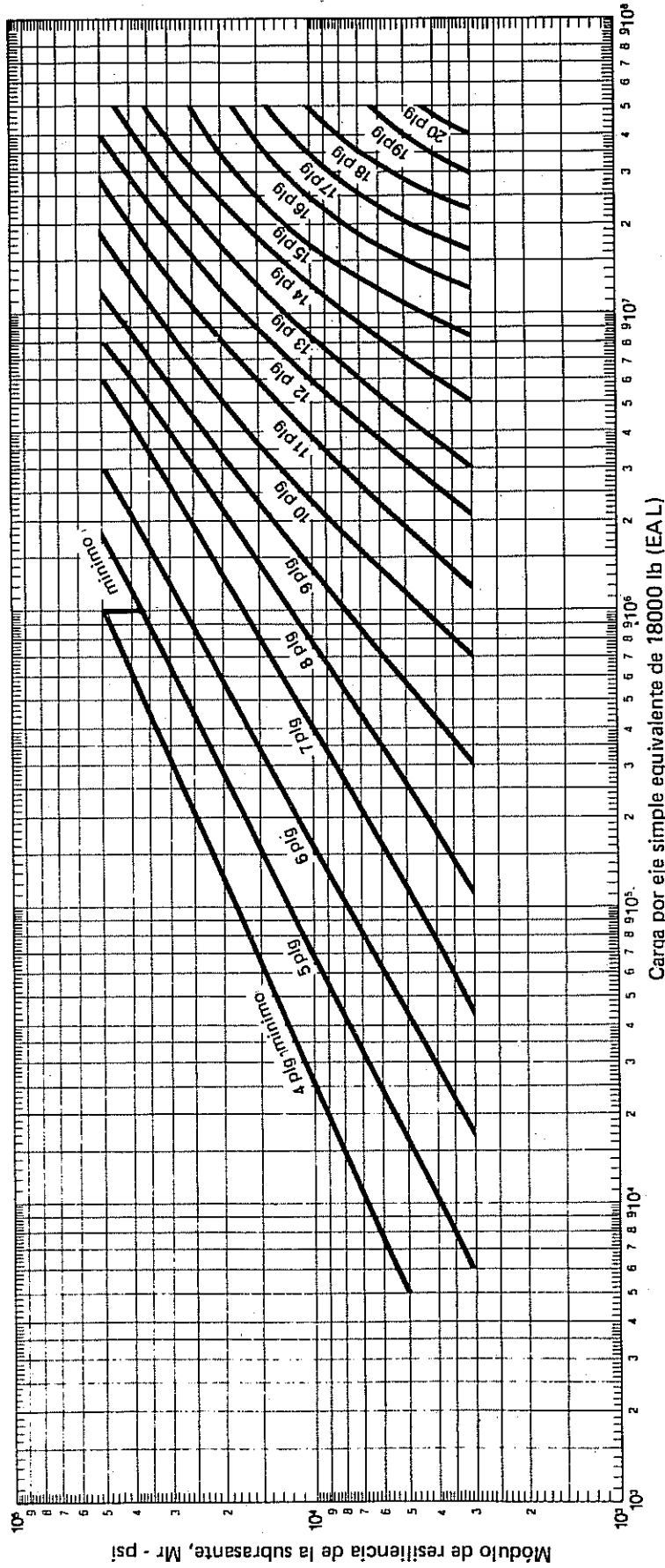


Carga por eje simple equivalente de 80 kN (EAL)

ABACO 3

UB

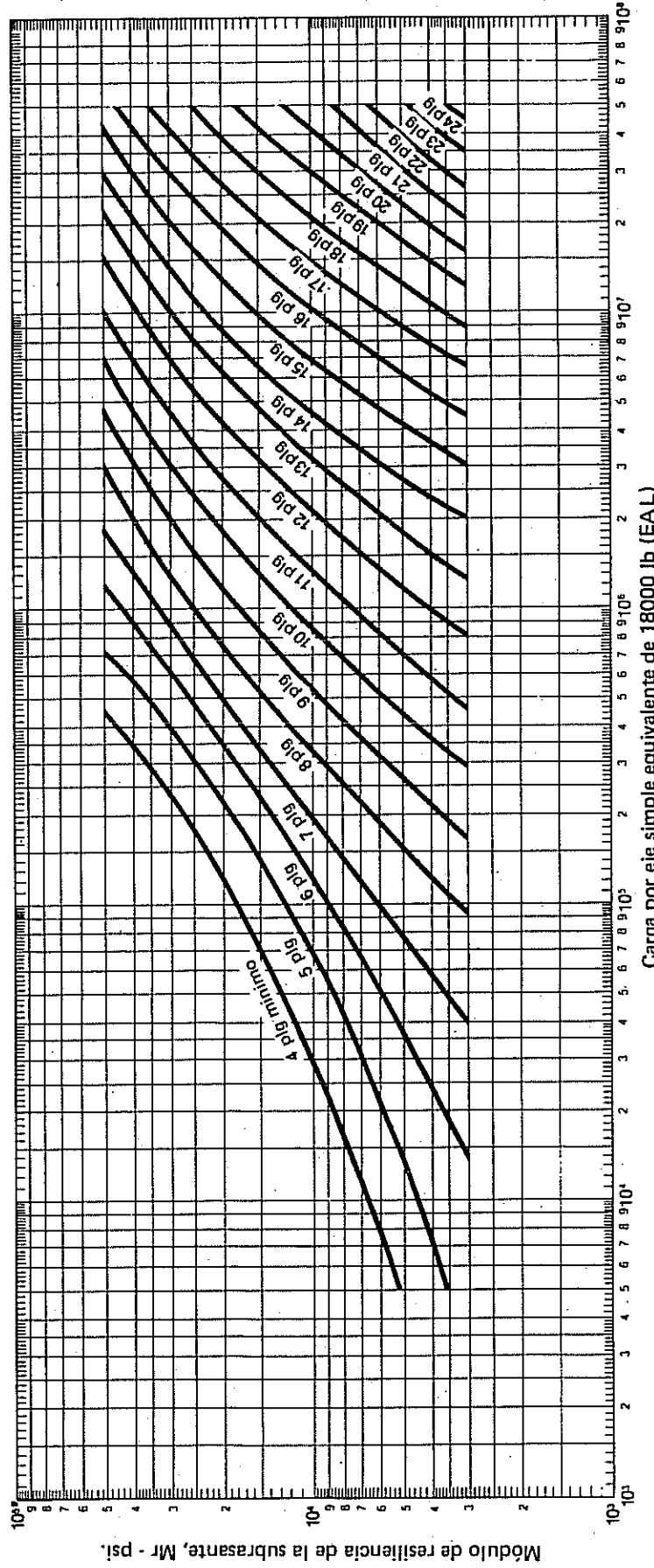
CONCRETO ASFALTICO INTEGRAL



ABACO 4

Handwritten number: 5111

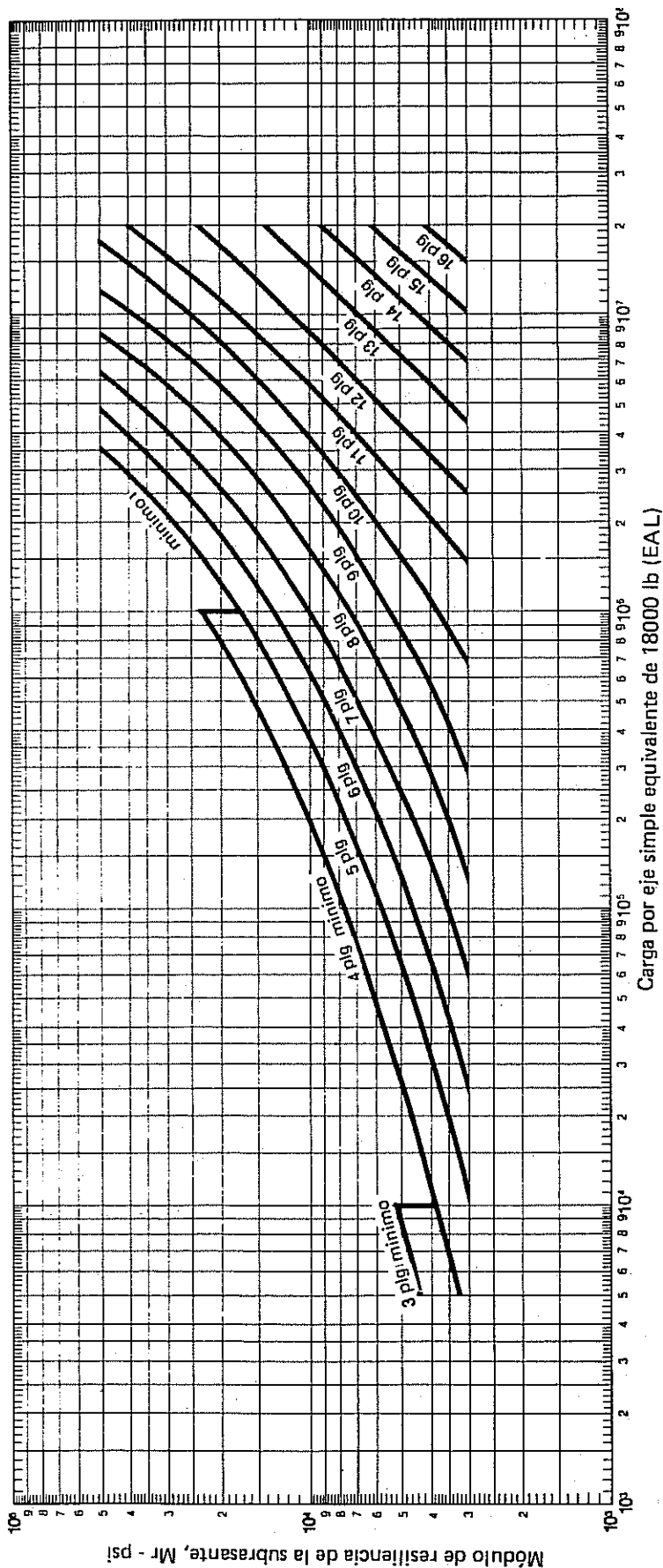
MEZCLA CON ASFALTO EMULSIONADO TIPO II



ABACO 5

Handwritten marks: "10.5" and "10.4"

BASE DE AGREGADO SIN TRATAR DE 6,0 pulg. DE ESPESOR



ABACO 6

100 456

TABLA 2 ESPEORES MINIMOS PARA CONCRETOS ASFALTICOS

Tránsito EAL	Espeor
10 ⁴	25 mm (1.0 plg)
10 ⁵	40 mm (1.5 plg)
10 ⁶	50 mm (2.0 plg)

TABLA 3 ESPEORES MINIMOS DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES CON ASFALTO EMULSIONADO

Nivel de Tránsito EAL	Tipo 1		Tipo II y Tipo III	
	mm	(plg)	mm	(plg)
10 ⁴	25	(1)	50	(2)
10 ⁵	40	(1.5)	50	(2)
10 ⁶	50	(2)	75	(3)
10 ⁷	50	(2)	100	(4)
> 10 ⁷	50	(2)	130	(5)

Se puede usar concreto asfáltico o tratamientos superficiales, sobre base con asfalto emulsionado Tipo I.
 Se puede usar concreto asfáltico o mezcla con asfalto emulsionado Tipo I con un tratamiento superficial, sobre base asfáltica emulsionada Tipo II o III.

El manual "Thickness Design", MS-1, Asphalt Institute contiene requerimientos específicos de los materiales para todos los tipos de superficies y capas de base incluidas en los ábacos de diseño. En esta publicación se incluyeron sólo los que se usan para el ejemplo.

Ejemplo 1: Concreto asfáltico Integral ("full - depth")

Se suponen las siguientes condiciones:

Módulo de la subrasante : $M_r = 41.37 \text{ MPa (6000 psi)}$.

Tránsito de diseño : $EAL = 10^6$

Del ábaco 1 (Abaco 4) se saca un espeor de diseño para concreto asfáltico integral igual a 240 mm (9,5 pulg) para el concreto superficial y la base. De la Tabla 2 el espeor mínimo del concreto asfáltico para la superficie es 50 mm (2 pulg), por lo que el espeor de la base será de 190 mm (7,5 pulg). Ambas capas deben reunir las siguientes condiciones:

1. La granulometría del agregado debe cumplir con las exigencias contenidas en "Model Construction Specifications for Asphalt Concrete and Other Plant-Mix Types", SS-1, Asphalt Institute cuando se lo ensaya siguiendo los procedimientos de "Mix-Design Methods for Asphalt Concrete and other Plant-Mix Types", MS-2, Asphalt Institute. Se pueden usar las especificaciones de granulometría dadas por reparticiones públicas locales si cuentan con una historia de comportamiento satisfactorio.

2. La mezcla de ligante asfáltico y agregado debe estar diseñada para que cumpla con el criterio sugerido en SS-1 y

3. Se debe compactar el concreto asfáltico hasta el valor de densidad establecido. Ver "Acceptance Requirements" en la especificacion PM-1 del "Model Construction Specification for Asphalt Concrete and other Plant-Mix Types", SS-1, Asphalt Institute, para determinar la densidad fijada y la densidad relativa.

Ejemplo 2: Mezcla con asfalto emulsionado, Tipo II

Se suponen las siguientes condiciones:

Módulo de la subrasante : $M_r = 27.6 \text{ MPa (4000 psi)}$
 Tránsito de diseño : $EAL = 10^5$

Del ábaco 2 (Abaco 5), el espesor total necesario es 195 mm (7,7 pulg). La Tabla 3 da un espesor mínimo de 50 mm (2pulg) de concreto asfáltico o mezcla con asfalto emulsionado Tipo I con tratamiento superficial, que se debe colocar sobre la base con asfalto emulsionado. Restando ésto del espesor total quedan 145 mm, redondeado 150 mm (6 pulg), para el espesor de la base con asfalto emulsionado Tipo II.

El agregado y la emulsión asfáltica usados en esta mezcla deben cumplir con los requerimientos dados en el Capítulo VII del "A Basic Asphalt Emulsion Manual", MS-19, Asphalt Institute. El diseño de las mezclas elaboradas con emulsiones asfálticas debe cumplir con los procedimientos y criterios incluidos en el MS-19.

Ejemplo 3: Base de agregado sin tratar de 150 mm (6 pulg).

Se suponen las siguientes condiciones:

Módulo de la subrasante : $M_r = 48.3 \text{ MPa (7000 psi)}$
 Tránsito de diseño : $EAL = 10^6$

Del abaco 3 (Abaco 6), el espesor de diseño del concreto asfáltico sobre una base de agregado sin tratar es de 210 mm (8,3 pulg). De la Tabla 2, el espesor mínimo de concreto asfáltico para la capa superficial, para $EAL = 10^5$, es 40 mm (1,5 pulg). Restándole esto al espesor total, quedan 170 mm, es decir 175 mm (7 pulg) de base de concreto asfáltico. El pavimento entero estará formado por

- 40 mm (1,5 pulg) de mezcla de concreto asfáltico superficial.
- 175 mm (7,0 pulg) de mezcla de concreto asfáltico para base y
- 150 mm (6,0 pulg) de base de agregado sin tratar.

Las mezclas de concreto asfáltico para superficies y bases deben reunir los requisitos que se indicaron en el Ejemplo 1. La base de agregado sin tratar debe reunir las siguientes requerimientos de ensayos.

CBR, mínimo*	80
ó	
Valor R, mínimo*	78
Límite líquido, Máximo	25
Índice de plasticidad, máximo o	NP
Equivalente de arena, mínimo	35
Pasando tamiz N° 200, máximo	7

* Las fórmulas ya vistas en esta lección para relacionar el CBR y el valor R al módulo de elasticidad de la subrasante no se aplican para bases y sub-bases granulares no tratadas.

458

CONSTRUCCION POR ETAPAS

Ventajas

La construcción por etapas de caminos y calles consiste en aplicar capas sucesivas de concreto asfáltico acordes con un diseño y una programación predeterminados. No se la debe confundir con el mantenimiento elemental o la rehabilitación de pavimentos existentes. Se basa en la suposición de que la segunda etapa se va a construir antes que la primera muestre signos serios de deterioro.

La construcción por etapas tiene varias ventajas:

1. Cuando no alcanza el dinero para construir el total del espesor de diseño, se puede proyectar el pavimento para construirlo en dos etapas - la primera para un período de tiempo más corto. Es importante hacer los planes necesarios para contar con fondos cuando haya que construir la segunda etapa.

2. Cuando haya dificultades para estimar el tránsito por período de 20 a 25 años, particularmente para calles y algunos caminos rurales de bajo volumen, la construcción por etapas se torna atractiva. Se diseña el camino para un período corto de tiempo y cuando la obra está en servicio se efectúan censos de volumen de tránsito que permiten hacer estimaciones mejores del tránsito futuro.

3. La experiencia indica que los pavimentos recapados luego de estar sometidos a la acción del tránsito se comportan mejor que los nuevos de igual diseño.

4. Se pueden reparar las zonas débiles que sufrieron deterioros durante la primera etapa y revisar los datos de tránsito. Con una evaluación cuidadosa del estado del pavimento cerca del final fijado para la primera etapa, se puede ahorrar en el espesor final o alargar la vida del pavimento original.

Método de Diseño

El diseño para la construcción por etapas se basa en el concepto de la vida residual. Como el procedimiento involucra la construcción por etapas, se diseña el pavimento presumiendo que el recapado planeado se ejecutará antes que haya completado su vida de fatiga.

Es necesario seleccionar un período de diseño de la etapa entre el 25 y el 50 por ciento del período total de diseño proyectado. Por ejemplo, si el período de diseño es 20 años, el de la etapa debe ser de 5 a 10 años.

Para asegurar que la capa de concreto asfáltico de la primera etapa va a funcionar con efectividad en conjunto con la segunda, ésta última debe aplicarse antes que el daño acumulado de la primera exceda el 60 por ciento aproximadamente. Es decir, la vida residual de la capa existente debe ser por lo menos el 40 por ciento de su vida de diseño.

En este procedimiento se usan los siguientes símbolos:

n_1 = EAL de diseño para la etapa 1

n_2 = EAL de diseño para la etapa 2

N_1 = EAL de diseño ajustado para la etapa 1

N_2 = EAL de diseño ajustado para la etapa 2

h_1 y h_2 = espesores de diseño para las etapas 1 y 2 respectivamente.

h_s = espesor a adicionar en la etapa 2.

Para obtener los espesores de diseño de las etapas 1 y 2:

(1) Determinar el EAL de diseño para la primera y segunda etapa (n_1 y n_2)

(2) Calcular los valores ajustados de EAL de diseño

$$N_1 = 1,67 n_1$$

$$N_2 = 2,5 n_2$$

(3) Del ábaco de diseño, determinar los espesores de diseño, h_1 y h_2 , para los valores *ajustados* EAL de diseño.

(4) Determinar el espesor a agregar en la etapa 2

$$h_s = h_2 - h_1$$

EJEMPLO: Suponer que se va a diseñar un pavimento asfáltico integral para un módulo de resiliencia de la subrasante de 34.47 MPa (5000 psi); se esperan 200.000 repeticiones de la EAL durante los primeros cinco años y $1,8 \times 10^6$ repeticiones durante los siguientes 15 años. Preparar un diseño para este proyecto considerando una primera etapa de cinco años y que se colocará una capa en ese momento para adaptarla al tránsito adicional que se espera en los 15 años siguientes. Seguir los pasos dados arriba para obtener:

1. Valores EAL de diseño:

$$n_1 = 200.000$$

$$n_2 = 1800.000$$

2. Valores EAL de diseño ajustados:

$$n_1 = 1,67 \times 200.000 = 334.000$$

$$n_2 = 2,5 \times 1800.000 = 4500.000$$

3. Del ábaco de diseño 1 (ábaco 4):

$$h_1 = 215 \text{ mm (8.5 pulg)}$$

$$h_2 = 330 \text{ mm (13,0 pulg)}$$

4. El espesor de diseño de la primera etapa, $h_1 = 215 \text{ mm (8.5 pulg)}$.

5. El espesor a adicionar en la etapa 2 es

$$h_s = 330 - 215 = 115 \text{ mm (13.0 - 8.5 = 4.5 pulg)}.$$

TEMA K

EL ASFALTO EN EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS

Nota para el Instructor

Los técnicos del asfalto que ocuparán su tiempo observando que los pavimentos estén adecuadamente mantenidos, se encontrarán exigidos en su inventiva y habilidad. No tendrán la ventaja de otros ingenieros de estudiar una situación por varios meses. Muchas veces se encontrarán bajo la presión de tener que mantener el tráfico circulando en forma segura y tener que realizar adecuadas reparaciones ó dar pasos para mantener un pavimento en condiciones óptimas, en condiciones inferiores a las deseables para la construcción del pavimento asfáltico.

Estas lecciones no tratan de suplantar la experiencia, la cual es muy valiosa en esta área de actividad. Lo que hacen es describir los tipos de fallas en pavimentos, causas y reparaciones recomendadas. Los pavimentos asfálticos se discuten en forma separada de los pavimentos con concreto de cemento portland.

La información que se presenta en estas lecciones, a lo largo de las cuales se desarrolla la conservación actual de pavimentos, debe formar técnicos efectivos y eficientes en mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

1. *Asphalt in Pavements Maintenance*, MS-16, The Asphalt Institute
2. *Asphalt Overlays for Heavily-Trafficked PCC Pavements*, IS-177, The Asphalt Institute.

UKM

1714 462

LECCION 1

MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

Objetivo : Describir los tipos de fallas, causas y reparaciones en pavimentos asfálticos.

INTRODUCCION	K 5
Definición de mantenimiento	K 5
Importancia de una inspección frecuente	K 5
Procedimientos de mantemiento	K 5
Mezclas asfálticas y materiales	K 6
BACHEO	K 6
Bacheos profundos	K 6
CAUSAS Y REPARACION DE FISURAS	K 9
piel de cocodrilo	K 9
de borde	K 10
de juntas	K 11
de reflexión	K 12
de contracción	K 12
de deslizamiento	K 13
CAUSAS Y REPARACION DE DEFORMACIONES	K 14
Ahuellamiento	K 14
Corrugaciones y Desplazamientos	K 15
Depresiones	K 16
Levántamiento	K 17
CAUSAS Y REPARACIONES DE LA DESINTEGRACION	K 17
Pozos	K 17
Desprendimientos	K 18
CAUSAS Y REPARACION DE SUPERFICIES RESBALADIZAS	K 18
Exceso de asfalto	K 18
Agregados pulidos	K 20
PROBLEMAS DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	K 21
Pérdida de agregado de cubrimiento	K 21
Estriado Longitudinal	K 22
Estriado Transversal	K 22

464

LECCION 1**MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS****INTRODUCCION**

Existen alrededor de 2.000.000 de millas de caminos pavimentados en EE.UU que requieren mantenimiento. La inversión original en estas estructuras fue de billones de dólares. Su mantenimiento cuesta ahora millones de dólares por año. Obviamente se hace imperativo un buen mantenimiento planificado.

Definición de mantenimiento

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) define al mantenimiento como la preservación y conservación de una carretera en su condición original de construcción o en su condición subsiguientemente mejorada. El pavimento, si se mantiene en su condición original, podría teóricamente durar para siempre. Pero en la práctica, el mantenimiento apenas ayuda al pavimento a que cumpla su función satisfactoriamente durante su vida de diseño. El mantenimiento debe llevarse a cabo con el mínimo gasto e interrupción del tráfico.

El mantenimiento no solamente preserva la superficie del pavimento, sino que también previene el desgaste acelerado. No debe considerarse como un recurso temporario, sino una inversión en la estructura del pavimento y una garantía contra una renovación costosa del mismo.

Importancia de una Inspección frecuente

Las tensiones que producen defectos menores están constantemente trabajando en todos los pavimentos. Tales tensiones pueden ser causadas por un cambio de temperatura o contenido de humedad, por el tráfico, o por pequeños movimientos en el suelo subyacente o adyacente. Las fisuras, baches, depresiones y otros tipos de fallas son la evidencia visible del desgaste del pavimento.

Una detección temporaria y reparación de los defectos menores es sin lugar a dudas, el trabajo más importante realizado por los equipos de mantenimiento. Las fisuras y otras fallas superficiales, las cuales en los primeros estados son casi imperceptibles, pueden convertirse en serios defectos si no son reparadas rápidamente. Por esta razón, los técnicos calificados deben realizar frecuentes inspecciones del pavimento.

Después de la detección de las fallas, se debe hacer una investigación detallada para determinar que clase de reparación necesita. Estas reparaciones deben realizarse tan pronto como sea posible.

Una inspección en cada estación y la limpieza de los sistemas de drenaje son las formas de mantenimiento preventivo. Si los drenes se mantienen desobstruidos se eliminan algunas de las mayores causas de daño del pavimento.

Procedimientos de mantenimiento

Los procedimientos de mantenimiento para corrección de fallas en pavimentos asfálticos incluyen bacheo, sellado de grietas y superficies y recubrimiento de la superficie.

El bacheo descrito más adelante en detalle, puede ser una reparación temporaria o permanente.

El sellado de fisuras se efectúa usando asfaltos diluidos o emulsionados; lechadas emulsionadas, compuestos especiales de asfalto, o mediante el sellado del área superficial.

Las capas de sellado, tratamientos superficiales, y capas de asfalto pueden también ser parte de los procedimientos de mantenimiento.

Mezclas asfálticas y materiales

El concreto asfáltico y otras mezclas de planta en caliente producen bacheos de larga vida que desarrollan estabilidad rápidamente. Deben usarse siempre que sea práctico y económico. Otros materiales de mantenimiento son mezclas asfálticas de planta en frío y mezclas hechas en camino empleando asfaltos de curado medio o emulsificados para uso inmediato o con un corto tiempo de almacenamiento.

El asfalto de curado lento o emulsión que contenga solvente se usa para mezclas de bacheo almacenadas. Un tipo de mezcla en frío hecha en planta consiste en cemento asfáltico, mezclado con un diluyente como kerosene o aceite de horno, y cal hidratada mezclada con agregado seco. Esta mezcla para bacheo puede ser almacenada o bien usada inmediatamente.

Para rellenar fisuras pequeñas se usan grados livianos de asfalto diluidos de curado rápido y medio, como también emulsiones asfálticas y lechadas de asfalto emulsionado. Para fisuras mayores, los mismos asfaltos pueden ser combinados con agregado fino o arena y barridos en el lugar. Estas fisuras de gran tamaño pueden sellarse con asfalto y espolvorearse con agregado fino o polvo mineral para prevenir el ahuecamiento.

BACHEO

El bacheo es probablemente el método más difundido de reparación en el mantenimiento de carreteras y calles. Todos los pavimentos requieren bacheo alguna vez. Si los baches no ocurren por causas naturales, los producen los cortes y zanjas que origina el tránsito. Los defectos varían desde áreas agrietadas y abrasiones superficiales hasta baches profundos.

El bacheo requiere una supervisión experimentada y firme. Una reparación oportuna de las pequeñas fracturas ayudará a mantener bajos los gastos porque una vez que el área se ha roto y entra el agua a la subrasante, se produce una falla muy grande.

Bacheos profundos

Los bacheos profundos se usan para hacer una reparación duradera del pavimento. El material del área a ser reparada debe ser removido hasta la profundidad necesaria para alcanzar un soporte firme. Esto puede implicar la remoción de parte de la subrasante. La excavación debe además extenderse por los menos 0,3m (1 pie) dentro del pavimento en buen estado que circunda el área a ser bacheada. Debe tener sus cantos a escuadra y forma rectangular (Figura 1). Una sierra de pavimento realiza un corte rápido y nítido (Figura 2). Las caras verticales reciben luego un riego de liga

Si el piso del bache es una base granular, que es parte de la estructura del pavimento, deberá ser imprimado antes de colocar la mezcla asfáltica para bacheo. Si la profundidad del bache se extiende hasta o dentro de la subrasante y se contempla la posibilidad de efectuar un bacheo asfáltico full-depth, entonces no es necesario un riego de imprimación.

Figura 1. Remoción de la superficie y de la base

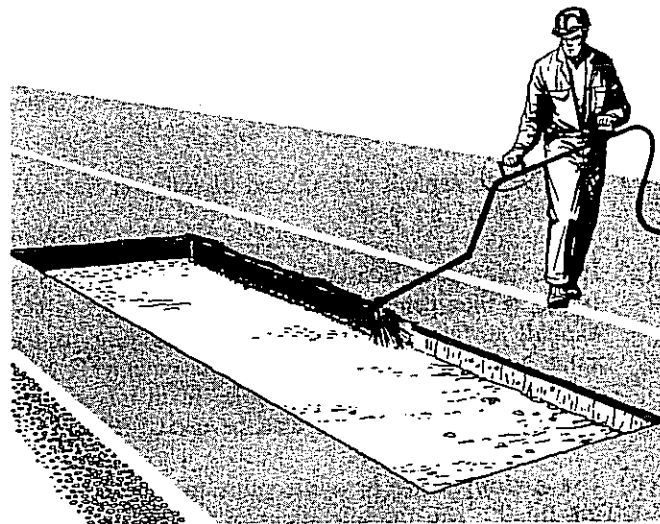
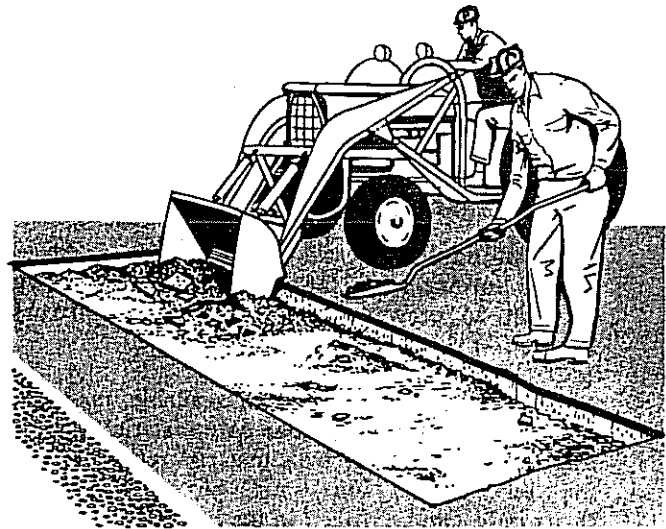


Figura 2. Aplicación de un riego de liga a las caras verticales.

Para obtener mejores resultados, el bache debe ser rellenado primeramente con una mezcla asfáltica densa, de planta en caliente (Figura 3) y distribuida cuidadosamente para prevenir segregación (Figura 4). Si no se dispone de mezcla asfáltica, se rellena el piso del bache con un buen material granular de base. La parte de la superficie y la porción superior de la base que fue excavada pueden disgregarse en pedazos pequeños, mezclarse cuidadosamente y colocarse en el piso del bache.

Si la profundidad del bache es mayor que 150mm (6 pulg), el relleno debe ser colocado en capas y cada capa debe ser compactada cuidadosamente. Un compactador vibratorio es excelente para baches pequeños. Para grandes áreas puede ser más práctico usar un rodillo (Figura 5) Se completa la reparación colocando una capa superficial y compactándola posteriormente, hasta emparejarla con la superficie del pavimento circundante. Se puede usar una cuerda o regla para controlar la nivelación de la superficie (Figura 6).



Figura 3. Rellenado del bache con mezcla de planta

Figura 4. Distribución de la mezcla

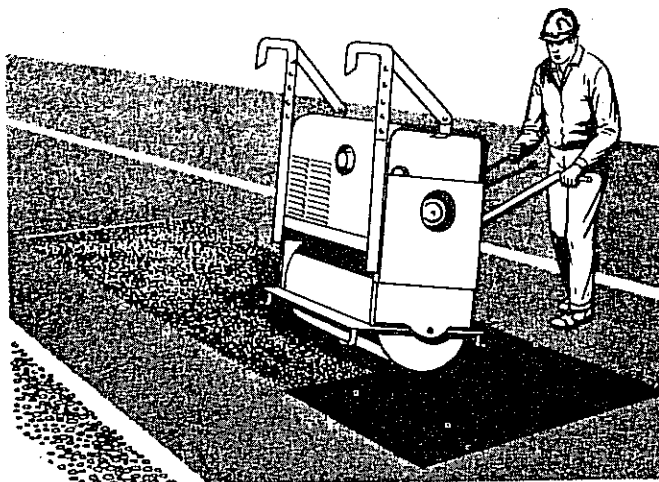
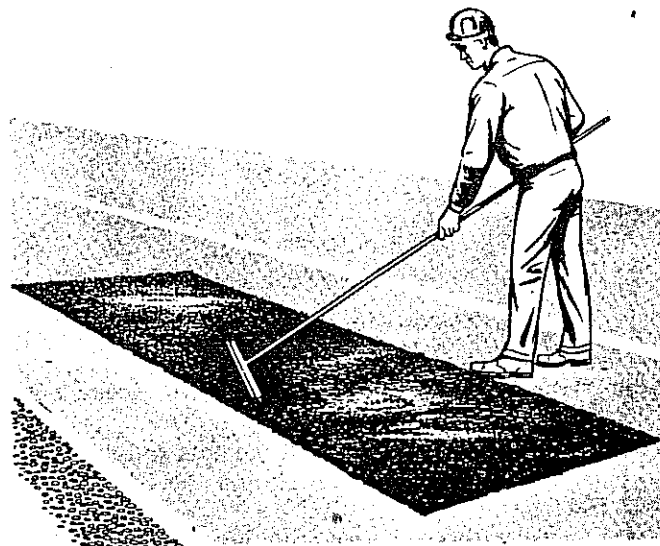
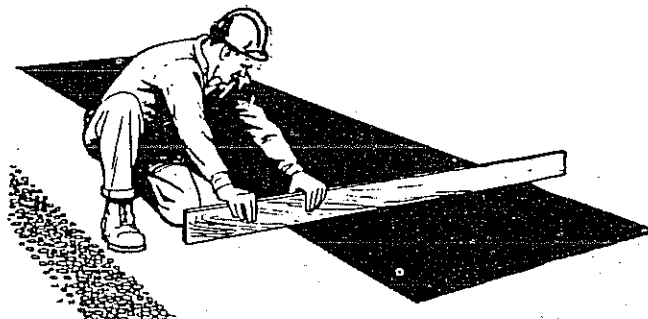


Figura 5. Compactación de la mezcla

Figura 6. Control de la superficie bacheada con una regla



CAUSAS Y REPARACION DE FISURAS

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

El modelo de agrietamiento es frecuentemente el mismo para varias causas y para varios estados de falla. Los tipos de grietas que los equipos de mantenimiento encuentran más comunmente son:

1. Grietas piel de cocodrilo
2. Grietas de borde
3. Grietas de juntas
4. Grietas reflejadas
5. Grietas de contracción
6. Grietas de desplazamiento

Grietas piel de cocodrilo

Las grietas piel de cocodrilo son fisuras interconectadas formando una serie de pequeños bloques semejando la piel de cocodrilo o alambrado de gallinero (Figura 7). Generalmente están asociadas a una base granular no tratada que ha fallado o una subrasante elástica.

Como la fisuración piel de cocodrilo generalmente es causada por una base o subrasante saturada la corrección debe incluir la remoción del material húmedo y la ejecución de drenajes. Una mezcla asfáltica full-depth provee un parche resistente. Si no se dispone de mezcla asfáltica, puede usarse un material granular nuevo, compactado en capas imprimadas y con superficie tratada.

Para reparaciones temporarias pueden usarse parches superficiales. De cualquier modo las reparaciones deben realizarse rápidamente para que no ocurra un daño mayor al pavimento .



Figura 7. Fisuras piel de cocodrilo

Fisuras de borde

Las fisuras de borde son grietas no lejos del borde del pavimento, con o sin, grietas transversales bifurcadas hacia las banquetas (Figura 8). Comúnmente las fisuras de borde son causadas por la falta de soporte lateral o de banquetas del pavimento asfáltico. También pueden ser causadas por un asentamiento o deformación del material de base subyacente al área fisurada. Esto puede ser el resultado de un drenaje pobre, elevación de la helada o contracción debido al ressecado de la tierra circundante.

Para reparación, las fisuras de borde deben ser rellenadas con lechada de emulsión asfáltica o asfalto diluido mezclado con arena. Si el borde del pavimento ha cedido, la superficie debe ser llevada a nivel con un material de bacheo constituido por mezcla caliente hecha en planta.



Figura 8. Fisura de borde
(Foto cortesía de Ohio Highway Dept.)

Fisuras de juntas

Existen dos tipos de fisuras de juntas. Una es la fisura en la junta de borde, que ocurre entre el pavimento y la banquina. (Figura 9). La otra es en la junta entre carriles, que ocurre entre dos carriles adyacentes (Figura 10).

Una causa común de la fisuración en la junta de borde es el humedecimiento y secado o el congelamiento y deshielo alternativos por debajo de la superficie de la banquina. Generalmente se produce por un drenaje pobre donde el agua es atrapada o encharcada sobre la junta entre el pavimento y la banquina.

Las fisuras en las juntas entre carriles, por otro lado, son generalmente causadas por una débil unión o ligazón entre las capas contiguas del pavimento.

Cuando el agua es un factor contribuyente a la fisuración, lo primero que debe ser corregido es el drenaje. Las fisuras son rellenadas con lechada de emulsión asfáltica. Para rellenar fisuras grandes pueden usarse compuestos especiales de asfalto o asfaltos más densos.

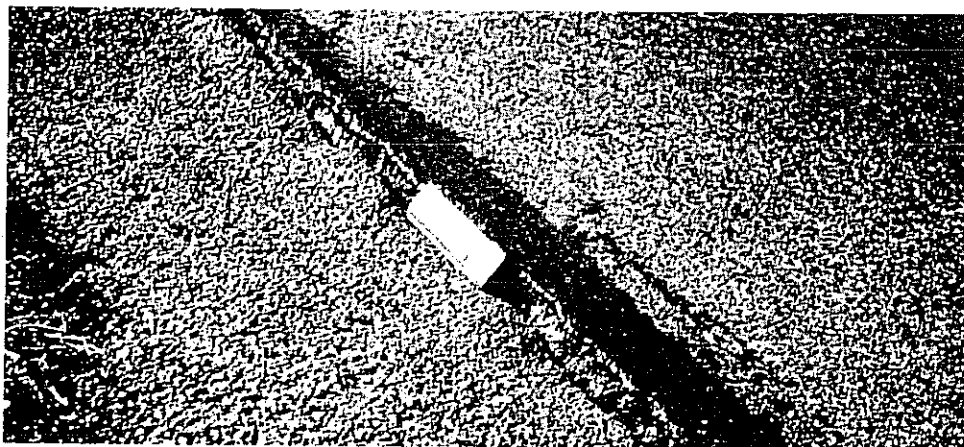


Figura 9. Fisuras de juntas de borde

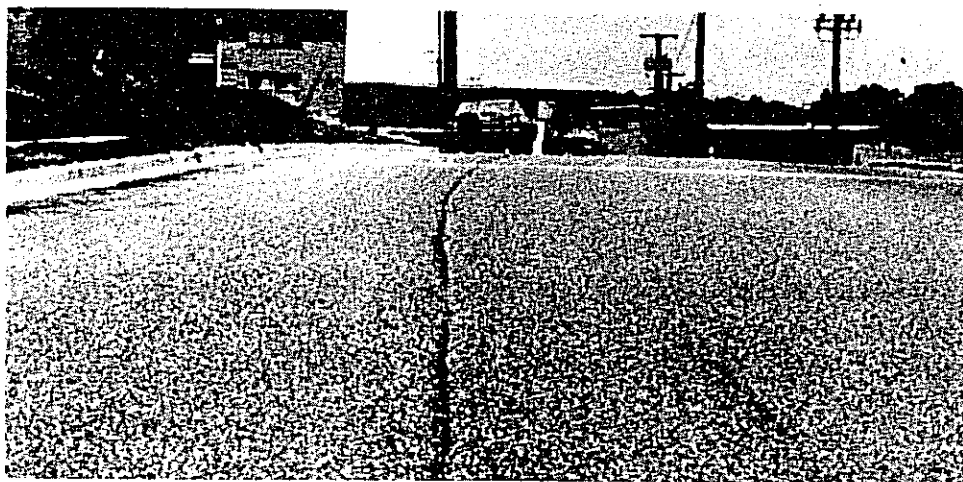


Figura 10. Fisuras de juntas entre carriles

670 67

Fisuras de reflexión

Las fisuras de reflexión (Figura 11) ocurren en las capas sobrepuestas de asfalto. Estas reflejan el tipo de fisura de la estructura inferior del pavimento. Se encuentran frecuentemente en capas superficiales de asfalto sobre bases de concreto con cemento portland y bases tratadas con cementos.

Las fisuras de reflexión están causadas por movimientos verticales u horizontales del pavimento por debajo de las capas sobrepuestas, debido a las cargas del tránsito, temperatura y movimientos del terreno.

Si las fisuras de reflexión son menores de 3mm (1/8 pulg) de ancho pueden ser ignoradas a menos que el agua pueda entrar y causar un daño mayor. En este caso, se deben rellenar con una técnica especial, usando asfalto emulsificado o diluido cubierto con arena. Las grietas más anchas que 3mm (1/8 pulg) se rellenan con una lechada de emulsión asfáltica o con un asfalto diluido liviano y arena fina.

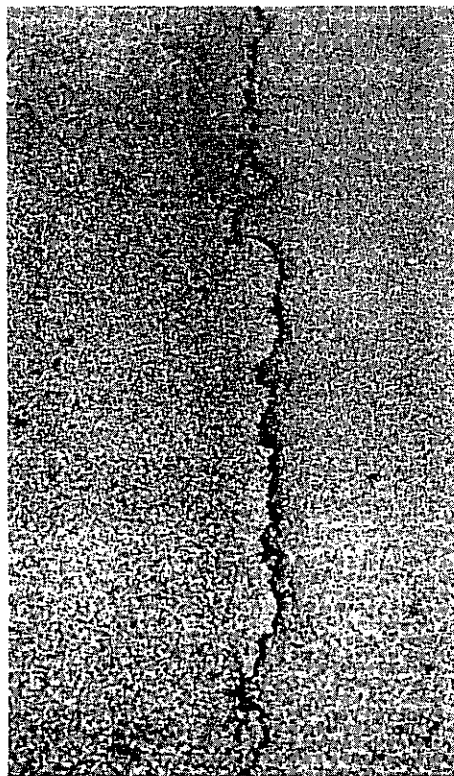


Figura 11. Fisuras de reflexión

Fisuras de contracción

Las fisuras de contracción son grietas interconectadas formando una serie de bloques grandes y usualmente con esquinas o ángulos agudos (Figura 12). Generalmente es difícil determinar si las fisuras de contracción son causadas por un cambio de volumen en la mezcla asfáltica o en la base o en la subrasante. Frecuentemente están causadas por un cambio volumétrico de las mezclas de agregado fino y asfalto que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. La ausencia de tráfico acelera las grietas de contracción en estos pavimentos.

Las fisuras de contracción deben ser rellenadas con lechada de emulsión asfáltica seguida por un tratamiento superficial o una lechada de sellado sobre toda la superficie.

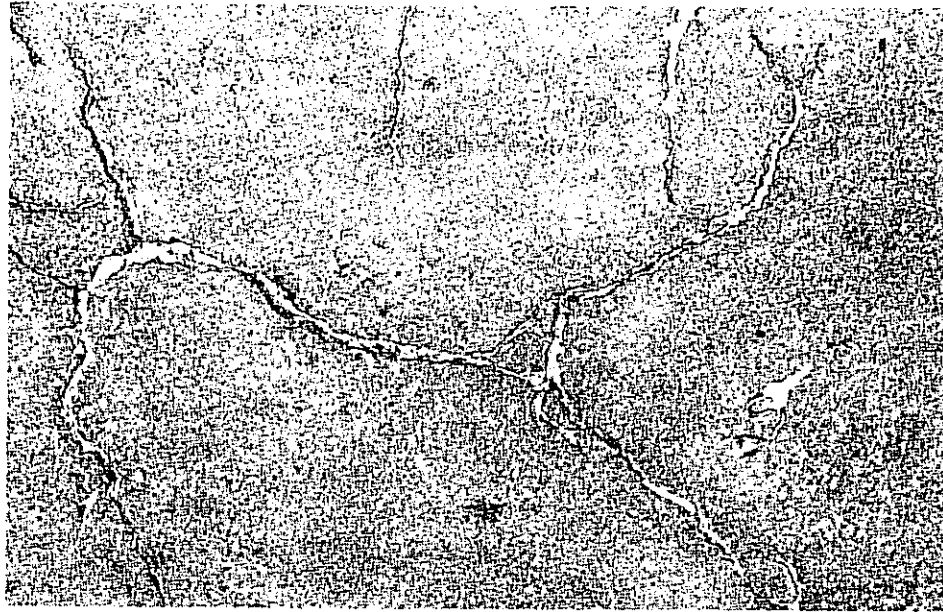


Figura 12. Fisuras de contracción

Fisuras de deslizamiento

Las fisuras de deslizamiento (Figura 13) son grietas, resultado de fuerzas horizontales producidas por el tráfico. Son debidas a una falta de liga entre la capa superficial y la capa inferior. Esta falta de liga puede estar debida a polvo, suciedad, aceite o ausencia de un riego de liga.

El único medio efectivo para repararlas es la remoción de la capa superficial desde los alrededores de la grieta hasta el punto donde existe una buena liga entre capas. Luego se bachea el área con una mezcla asfáltica en caliente.

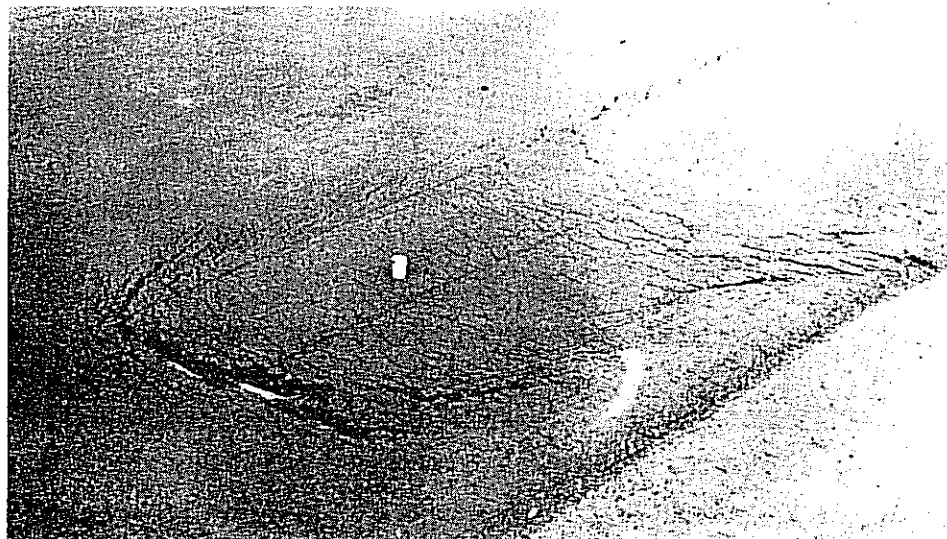


Figura 13. Fisuras de deslizamiento

472

CAUSAS Y REPARACION DE DEFORMACIONES

La deformación del pavimento es el resultado de la debilidad o del movimiento del suelo de la subrasante donde ha tenido lugar la compactación o donde se ha compactado la base. Puede o no estar acompañada de grietas, pero en cualquier circunstancia, produce un riesgo para el tráfico, permite la acumulación de agua, y eventualmente empeora las cosas. La deformación se puede presentar bajo distintas formas:

1. Ahuellamiento
2. Corrugación
3. Desplazamiento
4. Depresiones, y
5. Levantamiento

Como cualquier otro defecto, el tipo de deformación tiene una causa y debe ser determinada antes de aplicar una solución. Las técnicas de reparación varían desde la nivelación de la superficie rellenando con nuevo material hasta la remoción completa del área afectada y reemplazo con nuevo material.

Ahuellamiento

El ahuellamiento, formación de estrías o surcos, son depresiones canalizadas que se desarrollan en las huellas de las ruedas en los pavimentos asfálticos (Figura 14). El ahuellamiento puede resultar de la consolidación o movimiento lateral bajo el tránsito en una o más de las capas subyacentes, o por desplazamiento de la misma capa superficial. Se puede desarrollar bajo tráfico en pavimentos nuevos que tuvieron muy poca compactación durante la construcción, o pueden producirse por movimientos plásticos en una mezcla que no tiene la estabilidad suficiente para soportar el tráfico.

La acción correctiva es la nivelación del pavimento o el relleno de los canales con mezcla asfáltica en caliente. Una capa delgada de asfalto en mezcla caliente se aplica luego sobre toda la superficie.

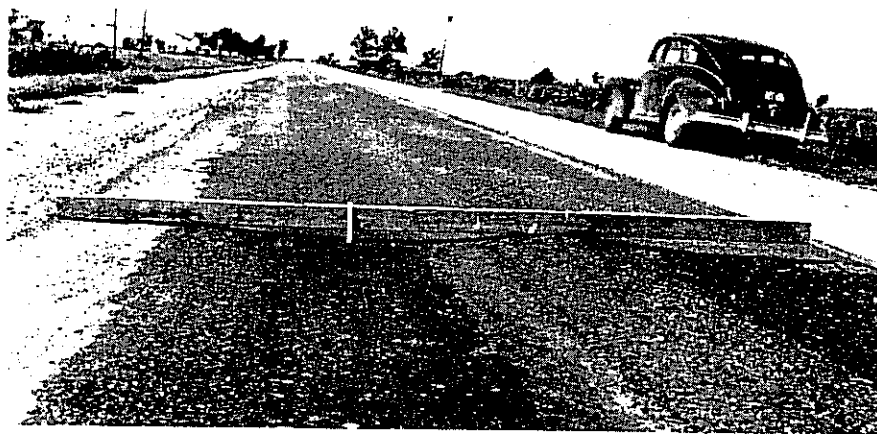


Figura 14. Ahuellamiento

Corrugaciones y Desplazamientos

Las corrugaciones, u ondulaciones, son una forma de movimiento plástico tipificado por ondas a través de la superficie del pavimento asfáltico (Figura 15). El desplazamiento (Figura 16) es un movimiento plástico del que resultan combas localizadas en la superficie del pavimento. Ambos, contracciones y desplazamientos, ocurren generalmente en puntos donde el tráfico comienza y termina, o en lomas donde los vehículos frenan en cuesta abajo.

Las corrugaciones y los desplazamientos ocurren además en mezclas de pavimentos asfálticos que carecen de estabilidad. Esto puede ser el resultado de exceso de asfalto, exceso de agregado fino o agregado redondeado o de textura superficial lisa. En el caso de mezclas con asfalto emulsificado o diluido, puede ser debido a una falta de aireación.

Si el pavimento corrugado tiene una base de agregados con un tratamiento superficial fino, se debe escarificar la superficie, mezclarla con la base y recompactarla antes de la terminación. Si el espesor de la superficie es mayor que 50mm (2 pulg), las corrugaciones superficiales pueden ser removidas con una máquina fresadora en frío (Figura 17). Se coloca luego un riego de sellado sobre el área o una capa de mezcla en planta.

Para una reparación efectiva de áreas con desplazamientos, éstas deben ser removidas y bacheadas.



Figura 15. Corrugaciones



Figura 16. Desplazamiento

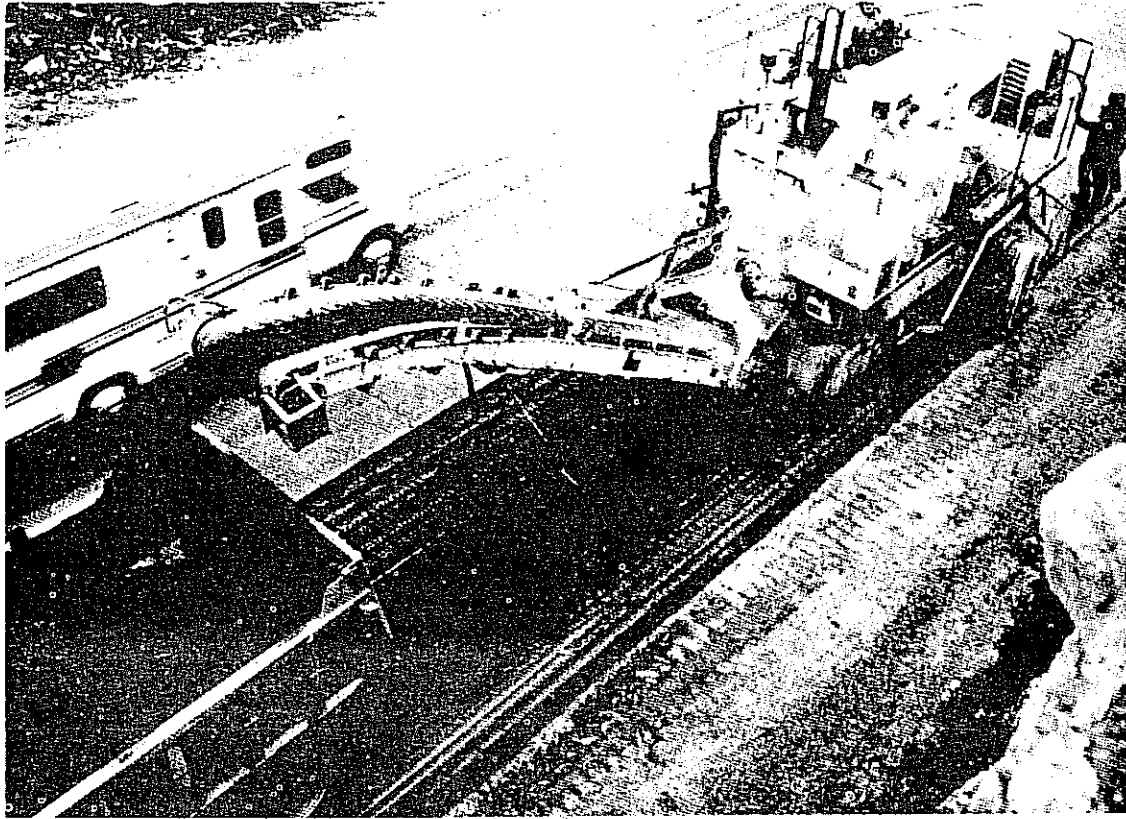


Figura 17. Máquina fresadora en frío
(Cortesía de CMI Corporation)

Depresiones

Las depresiones son áreas localizadas de tamaño limitado que pueden o no ser acompañadas por fisuras (Figura 18). El agua se junta en las depresiones, lo cual llega a ser no solamente una fuente de deterioro para el pavimento, sino también un peligro para los usuarios. Las depresiones son causadas por el tráfico más pesado que aquél para el cual fue diseñado el pavimento, por métodos de construcción pobres, o por asentamientos profundos de la subrasante.

Las depresiones deben ser llenadas con mezcla asfáltica en caliente y compactadas para reconstruir el área hasta el mismo nivel que el pavimento circundante.



Figura 18. Depresión. El área deprimida se nota por el depósito de agua en el pavimento

Levantamiento

El levantamiento es un desplazamiento del pavimento localizado hacia arriba, debido a un hinchamiento de la subrasante o de alguna porción de la estructura del pavimento (Figura 19). La causa más común es la expansión por congelamiento en capas granulares por debajo del pavimento o en la subrasante. El levantamiento puede ser causado además por efecto del hinchamiento provocado por la humedad en los suelos expansivos.



Figura 19. Levantamiento

CAUSAS Y REPARACION DE LA DESINTEGRACION

La desintegración es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos. Esto incluye el desprendimiento de las partículas del agregado. Si no se detiene en los primeros estados, la desintegración puede progresar hasta que el pavimento requiera una completa reconstrucción. Los pozos y desprendimientos son dos de los tipos más comunes de los primeros estados de desintegración. La reparación varía desde un simple sellado a profundos bacheos.

Pozos

Los baches son pozos en el pavimento con forma de cuenco (Figura 20) de varios tamaños resultantes de la desintegración localizada bajo la acción del tráfico. Generalmente están provocados por una debilidad en el pavimento, resultante de muy poco asfalto, una película de asfalto muy fina, exceso de finos, falta de finos o drenaje pobre.

Los pozos frecuentemente aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente y se deben tomar medidas de emergencia. Los arreglos temporarios incluyen la limpieza del pozo y el relleno con material de bacheo asfáltico premezclado. La reparación permanente se realiza ejecutando un bacheo profundo.

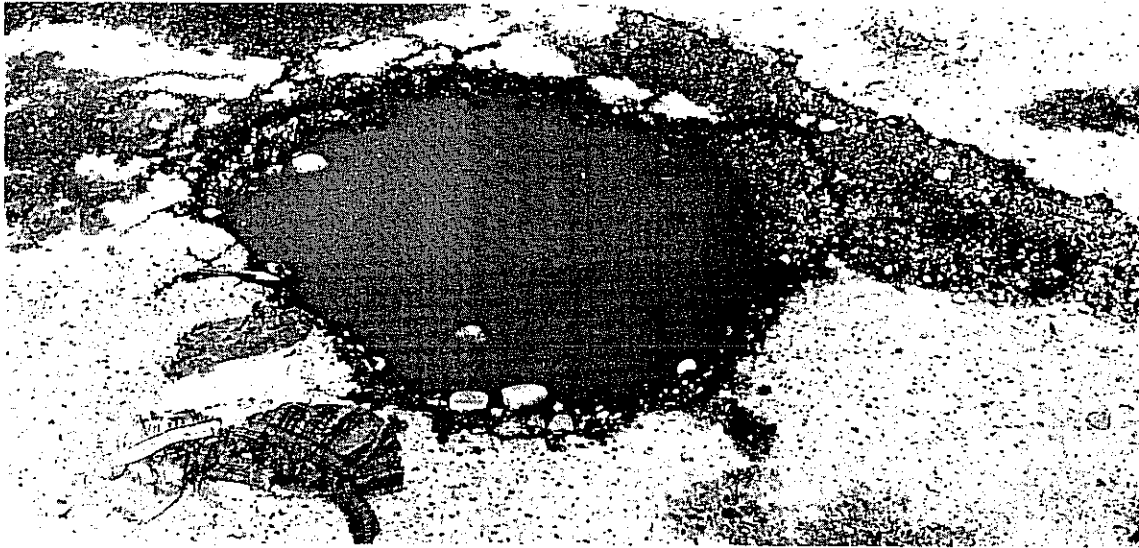


Figura 20. Pozo

Desprendimiento

El desprendimiento es la pérdida sucesiva de material superficial por la abrasión del clima y/o del tráfico (Figura 21). Usualmente el agregado fino se desprende primero dejando marcas de pequeñas picaduras en la superficie del pavimento. A medida que continúa la erosión, las partículas mayores eventualmente se desprenden y el pavimento pronto tiene una apariencia áspera y mellada típica de la erosión superficial. El desprendimiento es causado por métodos de construcción pobre agregados de baja calidad, o diseño pobre de la mezcla. Una aplicación a tiempo de un riego de sellado ante el primer indicio de desprendimiento, detendrá generalmente el deterioro.

Las superficies secas y afectadas por el clima normalmente requieren un tratamiento superficial. Las medidas de emergencia incluyen un sellado aplicado sobre la superficie del camino. Los tratamientos superficiales incluyen lechada asfáltica, riego de asfalto y arena, riego de asfalto y agregados, o un tratamiento superficial de mezcla en planta, dependiendo de la condición de la superficie y del tráfico.

CAUSAS Y REPARACION DE SUPERFICIES RESBALADIZAS

Exceso de asfalto

El afloramiento o exudación es la presencia de exceso de asfalto o de una película de asfalto en la superficie del pavimento (Figura 22). Las capas de pavimento con mezclas ricas de asfalto, riegos de sellado inadecuadamente construidos, o un riego de imprimación o liga muy abundante, pueden

Figura 21. Desprendimiento



Figura 22. Exudación de asfalto

provocar exudación. El tráfico con sobrepeso puede forzar o hacer salir al asfalto a la superficie del pavimento en tiempo cálido.

En muchos casos, la exudación puede corregirse mediante repetidas aplicaciones de arena o piedras residuales del tamizado para absorber el asfalto en exceso. Si la exudación es ligera, el único tratamiento necesario puede ser una capa friccional de mezcla en planta o un riego de sellado con agregados absorbentes.

Puede usarse una máquina desbastadora de pavimento ya sea en frío o en caliente, para remover el asfalto en exceso y para sacar toda la capa.

Agregados pulidos

Las partículas de agregado en la superficie del pavimento pueden gastarse bajo la acción abrasiva del tráfico (Figura 23.). Esto incluye a las gravas sin triturar naturalmente lisas y piedra partida, que se deterioran rápidamente bajo el tránsito. Otras tales, como algunos tipos de gravas, son naturalmente lisas, y si se usan en la superficie del pavimento sin trituración se convierten en factores de riesgo. Los agregados pulidos son completamente resbaladizos cuando están húmedos.

El único medio efectivo para reparar un pavimento con agregados pulidos es cubrir la superficie con un tratamiento resistente al deslizamiento. Debe aplicarse una delgada capa friccional de mezcla en caliente, un riego de arena o un riego de agregados. El agregado debe ser resistente y anguloso, como ser escoria, arena silícea, u otros materiales probadamente no pulimentables.



Figura 23. Agregado pulido en la superficie del pavimento.

PROBLEMAS DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Debido a los métodos de construcción, en los tratamientos superficiales pueden desarrollarse algunos defectos que no ocurren en otros tipos de pavimentos asfálticos. Esto incluye la pérdida de agregados de cubrimiento y el estriado del pavimento.

Pérdida de agregado de cubrimiento

La pérdida de agregado de cubrimiento de una superficie tratada es el desprendimiento del agregado por acción del tráfico, dejando solo el asfalto (Figura 24). Varios factores pueden causar la pérdida del agregado de cubrimiento, como ser:

1. Agregado distribuido después que el asfalto se ha enfriado mucho.
2. Agregado distribuido con mucho polvo o húmedo.
3. Agregado no compactado o asentado inmediatamente después de la distribución.
4. Rodillos de acero que se apoyan sólo en los puntos altos del pavimento
5. Librado del tráfico sobre el tratamiento superficial demasiado pronto, y
6. Un grado de asfalto no suficiente o incorrecto o una superficie absorbente.

Para reemplazar el agregado perdido puede distribuirse una capa de arena caliente sobre el área afectada. Debe ser inmediatamente compactada con rodillos neumáticos de manera de asentarla en el asfalto.



Figura 24. Pérdida de agregado de cubrimiento

Estriado longitudinal

El estriado longitudinal (Figura 25) está constituido por rayas alternativamente delgadas y gruesas, que corren paralelas a la línea central del camino. En el momento de regar el asfalto, el riego no provee una cubierta uniforme y produce estriado longitudinal. Muchos factores pueden causar este efecto, como ser:

1. Barra de riego no colocada a una altura correcta sobre el camino
2. Boquillas de la barra de riego no colocadas en el ángulo correcto o boquillas de tamaño inadecuado, obturadas o defectuosas.
3. Velocidad incorrecta de la bomba de asfalto
4. Asfalto demasiado frío o de demasiada alta viscosidad.
5. Una presión de bomba muy baja.

La única reparación satisfactoria del estriado longitudinal es cepillar la superficie y aplicar un nuevo tratamiento superficial. Es mucho más fácil prevenir este que corregirlo. La observación de las recomendaciones hechas por los fabricantes al operador del distribuidor, antes y durante el uso, prevendrá el estriado.

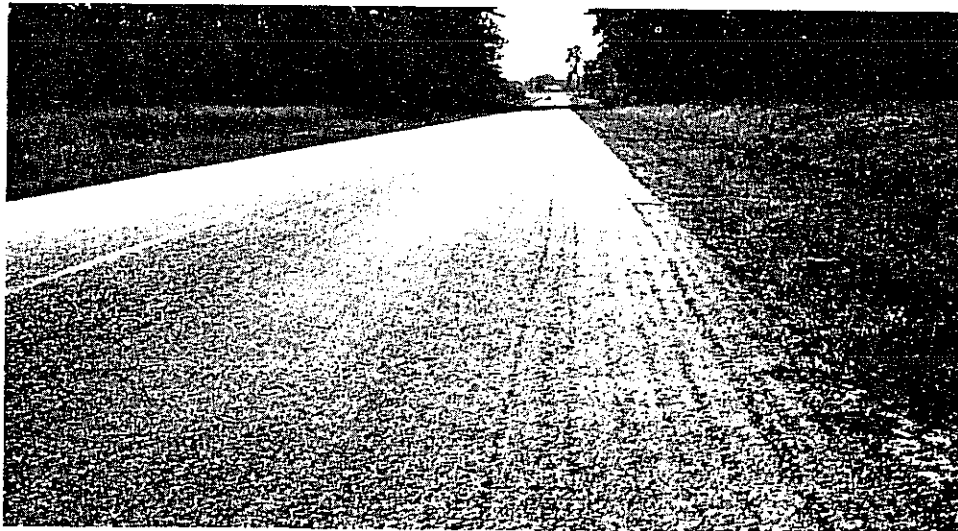


Figura 25. Estriado longitudinal

Estriado transversal

El estriado transversal es una sucesión de líneas alternativamente delgadas y gruesas que corren atravesando el camino, y que pueden transformarse en corrugaciones del pavimento. Es causado por la salida a chorro del asfalto desde la barra rociadora del distribuidor. Esta salida a chorros puede producirse por pulsación de la bomba de asfalto debida a partes gastadas o desprendidas, por una velocidad de la bomba inadecuada o por una falla en el motor.

Nuevamente, la única solución satisfactoria es cepillar la superficie y aplicar un nuevo tratamiento superficial.

LECCION 2

EL ASFALTO EN EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Objetivo: Describir el uso del asfalto en el mantenimiento y reparación de pavimentos de hormigón

INTRODUCCION	K25
El asfalto para mantenimiento de pavimentos de hormigón.....	K25
Sellado de juntas y fisuras	K25
Sub-sellado	K25
Capas superpuestas	K26
Capa de alivio de fisuras en un recapado	K26
MANTENIMIENTO DE JUNTAS Y FISURAS	K27
Resellado de juntas	K28
Sellado de fisuras	K28
Fisuras transversales	K29
Fisuras longitudinales	K29
Fisuras diagonales	K30
Fisuras en esquina	K31
Fisuras moderadas	K31
CAUSAS Y REPARACION DE LA DEFORMACION	K32
Fallas	K32
Bombeo	K33
CAUSAS Y REPARACION DE LA DESINTEGRACION	K33
Estallido	K34
Peladura	K36
Descascaramiento	K36
ELIMINACION DE LOS RIESGOS POR CALZADAS RESBALADIZAS.....	K37
Causas	K37
Reparación	K38

10

484

10

LECCION 2

EL ASFALTO EN EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

INTRODUCCION

El asfalto para mantenimiento de pavimentos de hormigón

El asfalto juega un rol muy importante en el mantenimiento de pavimentos de hormigón. Sella las juntas y grietas, llena las cavidades de las fracturas y levanta losas deprimidas. Además renueva los pavimentos desintegrados y cubre superficies resbaladizas. El asfalto si se usa correctamente, realiza un excelente trabajo en la reparación de muchos defectos del pavimento de hormigón. Las técnicas discutidas aquí no son las únicas correctas, pero son métodos probadamente satisfactorios.

Los detalles de las mezclas para bacheo, riego de liga, la colocación de las mezclas en baches, y la compactación de las mismas, como se discutió anteriormente, son igualmente aplicables en el bacheo y reparación de pavimentos de hormigón.

Sellado de juntas y fisuras

El sellado de juntas y fisuras se realiza por varias razones. Previene la infiltración de agua superficial, protege el relleno de las juntas, y las mantiene limpias de materias extrañas. En un tiempo, el concreto asfáltico con o sin filler mineral, fue el material de sellado más comunmente usado. Los compuestos de goma asfáltica han prevalecido, debido a que tienen una menor tendencia a ponerse quebradizos en invierno o muy blandos bajo tráfico en verano.

El equipo usado para sellado de juntas y grietas varía, sin embargo, se prefieren los aplicadores a presión con barras manuales montados en camión o trailer.

Antes de usar cualquier sellador, se deben limpiar las juntas y grietas. Los compresores de aire, los barrenadores con arena, y las rebajadoras hacen más fácil este trabajo. Se coloca en las juntas y fisuras sólo el material suficiente para llenarlas. Un sellador en caliente puede contraerse algo durante el enfriamiento; por eso deberá agregarse suficiente sellado adicional para llenar las aberturas. Si el pavimento va a recibir tráfico inmediatamente después del sellado, el material debe protegerse contra su levantamiento provocado por las llantas. Esto se realiza espolvoreando las juntas y grietas ya rellenas, con arena fina, filler mineral u otros materiales similares. Los selladores aplicados en frío pueden ser cubiertos con una tapa de papel.

Subsellado

Las cavidades de la subrasante pueden ser difíciles de detectar en sus primeros estados. Un camino para localizarlas es buscar el movimiento de losas bajo cargas tan pronto como la superficie se ha secado después de una lluvia. Cuando las cavidades existen, son notadas por la filtración o bombeo de agua a través de las juntas o a lo largo de los bordes de la losa. Otros síntomas incluyen un ruido sordo cuando pasa un vehículo sobre una cavidad o una junta de aspecto rugoso en una losa asentada.

Un subsellado inferior de estas losas, efectuado a tiempo, es altamente conveniente como mantenimiento preventivo. El subsellado oportuno detiene el bombeo y la deformación de la superficie del pavimento. Además usualmente posterga por varios años la necesidad de un recubrimiento. Pe-

ro si la superficie es rugosa antes de la acción correctiva, es aconsejable continuar el subsellado con un recubrimiento de concreto asfáltico. En todos los casos es bueno examinar el pavimento cuando ha sido necesario un recubrimiento, para ver si requiere un subsellado adicional.

El cemento asfáltico para subsellado de pavimentos de hormigón tiene un alto punto de ablandamiento, 82–93°C (180 a 200°F), y otras propiedades contenidas en las exigencias de ASTM D 3141. Generalmente se lo calienta desde los 204° a 232°C (400 a 450°F) antes de comenzar las operaciones de bombeo. Durante el subsellado, las presiones de bombeo pueden alcanzar de los 172 a 414 kPa (25 a 60 psi).

Los orificios con un diámetro de 38 a 50 mm (1,5 a 2 pulg) son perforados a través de la losa. Estos orificios deben estar espaciados alrededor de 3 m (10 pies) a lo largo de cada carril de tráfico y 1m. (3 pies) de la línea central del pavimento. Orificios adicionales se perforan a cada lado de todas las juntas o grietas transversales. Si el bombeo de las esquinas es excesivo, los orificios son perforados 1 m (3 pies) a cada lado de la junta o grieta y alrededor de 1 m (3 pies) desde el borde del pavimento.

Deben tomarse las precauciones extras en el manejo de la manguera y boquilla de asfalto caliente. Los obreros deben usar máscaras de seguridad y guantes de amianto, como también una vestimenta pesada, para protegerse del asfalto caliente. No debe usarse más presión que la necesaria para bombear el asfalto. Debe tenerse particular cuidado, cuando la boquilla es retirada del orificio, porque una presión pasiva o residual puede provocar que el asfalto salga de la boquilla.

Capas superpuestas

El tratamiento más efectivo y económico para muchos tipos de defectos en pavimentos rígidos, es una capa superpuesta de asfalto. Las capas superpuestas de asfalto se usan para restaurar pavimentos deformados y llevarlos a pavimentos lisos y resistentes a la desintegración. Los pavimentos resbaladizos pueden hacerse resistentes al deslizamiento con una capa adecuada de asfalto. Generalmente este tipo de corrección se considera que es de construcción mas bien que de mantenimiento. Sin embargo, estas capas pueden usarse en cortas extensiones como operación de mantenimiento.

Las fisuras de 13mm (1/2 pulg) o mayores en ancho son normalmente selladas con una mezcla asfáltica. Las áreas rotas deben ser removidas y bacheadas con concreto asfáltico. Las losas o porciones de losas que se han asentado, o aquéllas por debajo de las cuales es evidente el bombeo, deben ser subselladas con asfalto. Si la losa se rompe en un punto donde no puede ser subsellada, se la debe romper aún más en piezas menores de 0,3 m (12 pulg) de diámetro, compactar y asentar con un rodillo neumático pesado, y finalmente cubrir con una capa asfáltica de nivelación. Si la disgregación de la losa en pedazos más pequeños es impracticable, debe ser asentada con un rodillo pesado antes de ser recubierta con una capa de nivelación asfáltica. Cuando el pavimento tiene juntas premoldeadas, éstas deben limpiarse para prevenir las protuberancias en la nueva superficie asfáltica.

Para minimizar la reflexión de fisuras, el espesor total de una capa asfáltica sobre un pavimento tipo rígidos debe ser de 115mm (4,5 pulg) como mínimo. Puede requerirse un espesor adicional para proveer adecuada resistencia a la estructura mixta del pavimento.

Capa de alivio de fisuras en un recapado

La capa de alivio de fisuras está diseñada específicamente para minimizar la reflexión de grietas desde el pavimento viejo de hormigón a la nueva capa asfáltica.

Típicamente la estructura de la capa mencionada es una capa gruesa de mezcla caliente de graduación abierta y agregado grueso, de un espesor de 90mm (3,5 pulg) que contiene de un 25 a un 30% de vacíos interconectados y compuesta en un 100% de material triturado. Debido a la gran cantidad de vacíos interconectados, la capa de alivio provee un medio a través del cual los movimientos diferenciales (causantes del agrietamiento) de la losa subyacente no son fácilmente transmitidos. Se coloca como primera capa de un sistema de capas superpuestas.

La implementación de las capas sobrepuestas, en el concepto de capa de alivio, requiere tres

capas. Primero la capa de alivio de grietas; luego la capa de nivelación o intermedia de graduación densa (ASTM D 3515) que cubrirá la mezcla de graduación abierta para proveer una fundación lisa para la capa superficial, y finalmente una capa superficial convencional.

Cuando se usa una capa de alivio de 90mm (3,5 pulg), el espesor total incluyendo las dos capas superiores, de nivelación y superficial, estará entre los 180 y 230 mm (7 a 9 pies), Figura 1. Para obtener información adicional referirse a Asphalt Overlays for Heavily Trafficked PCC Pavements IS-177, The Asphalt Institute.

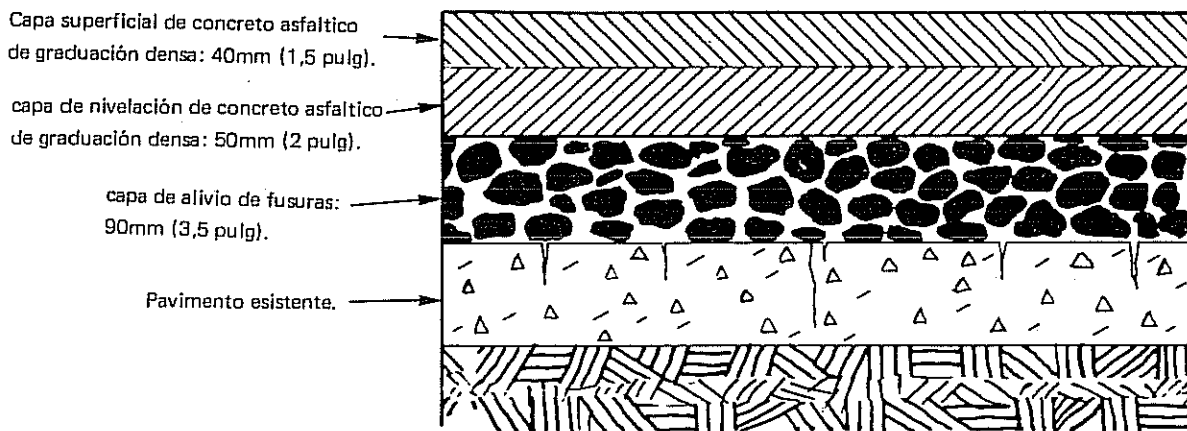


Figura 1. Sección transversal de un sistema de recado incluyendo capa de alivio

MANTENIMIENTO DE JUNTAS Y FISURAS

Los cambios relativamente grandes de volumen en los pavimentos de hormigón se producen por cambios de temperatura. Debido a ellos todos estos pavimentos se agrietan. El agrietamiento es una propiedad natural del material. Los pavimentos rígidos tienen juntas a intervalos regulares, permitiendo al hormigón agrietarse en líneas definidas y derechas.

Las juntas se pueden extender en toda la profundidad de la losa o se pueden ranurar hasta $1/6$ a $1/4$ del espesor. Las juntas de profundidad total son uniones entre losas para permitir la dilatación o para satisfacer requerimientos de construcción. Las juntas ranuradas son conformadas o cortadas para inducir la fisuración a lo largo del plano de debilitamiento. Las fisuras pueden desplazarse longitudinalmente, transversalmente, o en dirección diagonal al eje del camino.

Otra junta se realiza entre la losa de hormigón y la banquina. Es longitudinal y se llama junta de banquina. Existen otros tipos de juntas que tienen propósitos especiales. Estas son mantenidas en

la misma forma que los otros tipos de juntas principales.

Los métodos usados para sellado de juntas y fisuras son esencialmente los mismos. Consisten en la limpieza de la porción superior de la grieta y el relleno de la misma con material de sellado. Este debe estar adherido a ambas paredes de la abertura para ser efectivo. Debe removerse la arena, grava, polvo y basura que pueda haberse acumulado en la misma. De otra manera, cuando la junta se cierra bajo dilatación de las losas, puede hacer saltar los bordes. Si la fisura es muy delgada o tiene bordes descascarados, se puede efectuar una hendidura con una sierra de pavimento o con una cortadora rotativa, para recibir el sellante.

Resellado de juntas

Las juntas necesitan un mantenimiento periódico. El sellante de junta puede necesitar reemplazo por muchas razones. Por ejemplo se puede haber usado un tipo incorrecto de material, el sellante puede haber estado sobrecalentado; o las juntas pueden no haber sido cuidadosamente limpiadas antes del sellado.

En todos los casos las juntas que necesitan resellado deben ser excavadas hasta una profundidad de 25mm (1 pulg). Antes de aplicar el nuevo sellante, todas las superficies en y alrededor de las juntas deben ser limpiadas y secadas, sin que queden restos de filler o de sellante viejo adherido a los costados. Debe insertarse dentro de la hendidura goma esponjosa plástico o cinta, para proporcionar una superficie inferior no adhesiva al sellante.

Frecuentemente, se acumulan el material sellante de la junta, arenas y guijarros, y cuando las losas se dilatan el sellado los saca de las juntas y se forma una protuberancia. Algunas veces existe suficiente materia extraña en la junta como para causar desprendimientos, en las losas. Cuando esto ocurre, el sellante debe ser extraído y la junta resellada. Sin embargo, en muchos casos, el exceso puede removerse con una cuchilla de punta cuadrada calentada o una cortadora rotativa mecánica.

Sellado de fisuras

Las fisuras en los pavimentos de hormigón se definen como una resquebrajadura aproximadamente vertical debida a causas naturales o por acción del tráfico. Incluidos en esta definición están:

1. Fisuras transversales
2. Fisuras longitudinales
3. Fisuras diagonales
4. Fisuras de esquina, y
5. Fisuras moderadas

Si una fisura no es suficientemente ancha como para recibir material de sellado con facilidad, no se tratará de sellarla. Las grietas anchas deben ser cuidadosamente limpiadas antes del sellado.

Fisuras transversales

Las fisuras transversales (Figura 2) aparecen aproximadamente normales a la línea central del pavimento. Algunas de las causas más importantes que provocan la fisura transversal son: sobrepesos, repetidas curvaturas en las losas que bombean, falla del suelo de fundación, juntas congeladas, falta de juntas, juntas muy poco profundas y contracción del hormigón.

Las fisuras deben limpiarse de toda materia desprendida por medio de barrenado con arena de las caras verticales de la fisura hasta una profundidad de por lo menos 25 mm (1 pulg). Después de la limpieza con aire comprimido, se llena la misma con un sellador de goma asfáltica. Si la fisura ha sido causada por el bombeo, el área debe recibir un subsellado de asfalto.

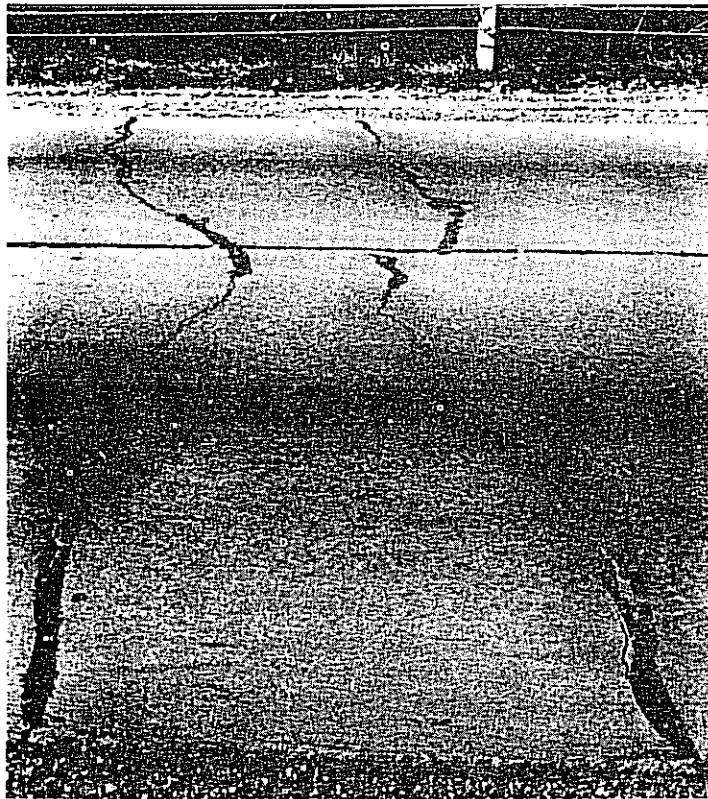


Figura 2. Fisuras transversales

Fisuras longitudinales

Las fisuras longitudinales corren aproximadamente paralelas a la línea central del pavimento (Figura 3). Algunas causas de este tipo de grietas son contracción del hormigón (si el pavimento no tiene juntas longitudinales y es ancho), sub-base o subrasante expansiva; esfuerzos de alabeo en combinación con las cargas; juntas en la línea central muy poco profundas y pérdidas de soporte debido al bombeo del borde.

Para la reparación, el procedimiento es el mismo que para grietas transversales; especialmente limpieza de la fisura y relleno con un sellador de goma asfáltica. Si el bombeo es una causa contribuyente al agrietamiento, el vacío por debajo de la losa del pavimento debe ser llenado con un asfalto de alto punto de ablandamiento.

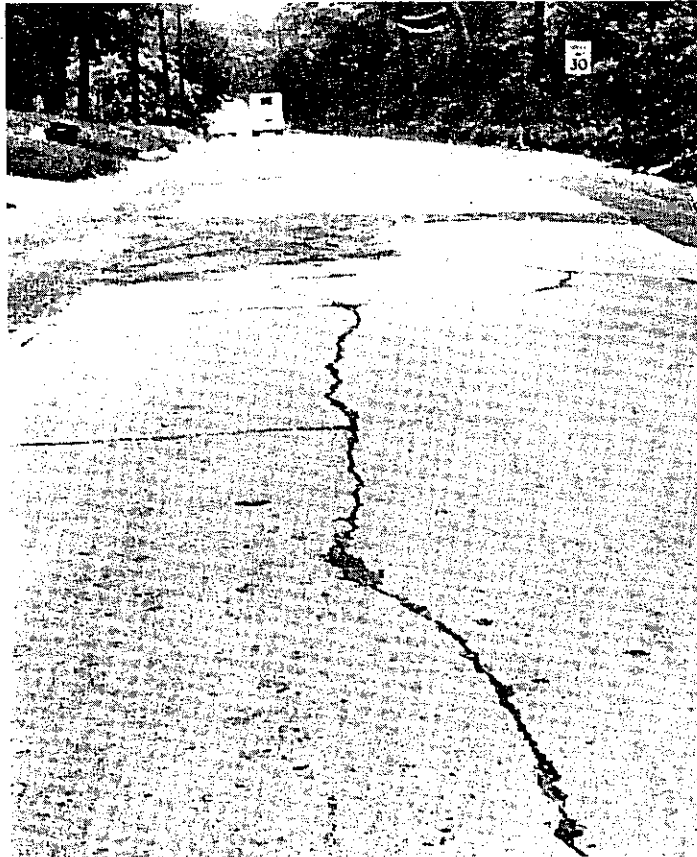


Figura 3. Fisuras longitudinales

Fisuras diagonales

Las fisuras diagonales corren en diagonal a la línea central (Figura 4). Se producen por cargas del tráfico sobre extremos de la losa sin apoyar. La fundación se asienta o la losa se curva, luego el suelo de la subrasante sale, la mayoría de los casos, a lo largo del borde, y resulta así una fisura diagonal. Las caras verticales de la fisura se barrenan con arena y se limpian con aire comprimido. Luego la fisura se llena con un compuesto de goma asfáltica. Se aplica a la losa un subsellado asfáltico, luego del cual se usa un compuesto sellante de goma asfáltica para finalizar el relleno de las fisuras.

490

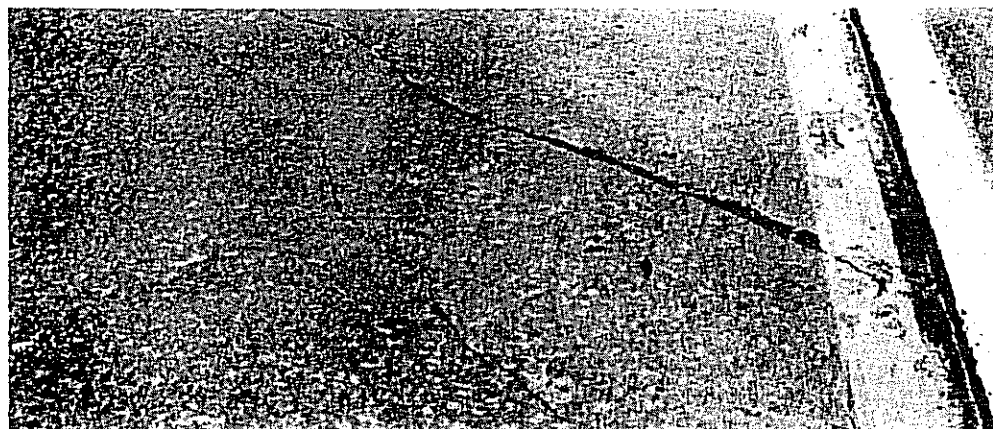


Figura 4. Fisuras diagonales

Fisuras de esquina

Las fisuras de esquina son fisuras diagonales que forman un triángulo con una junta longitudinal de borde y una junta transversal (Figura 5). Pueden ser causadas por las cargas del tráfico, sobre esquinas sin apoyo o sobre losas curvadas o pandeadas. También pueden producirse por cargas sobre puntos débiles en la subrasante debajo de la losa.

Las fisuras de esquina se reparan mejor removiendo el material disgregado en la esquina de la losa, y bacheando con un concreto asfáltico de graduación densa.



Figura 5. Fisura de esquina y desprendimiento

Fisuras moderadas

Las fisuras moderadas (Figura 6) se desarrollan a 1 m (3 pies) o menos de los bordes externos del pavimento de hormigón y progresan en una trayectoria irregular hacia la junta longitudinal. Están provocadas por materia extraña como ser grava dura que se aloja en la profundidad de una junta transversal y no permite la expansión de las losas.

La junta transversal obstruida debe ser removida y resellada. Las fisuras moderadas deben ser limpiadas y selladas con compuesto de goma asfáltica. Si las fisuras no son suficientemente anchas para ser selladas, generalmente se dejan.

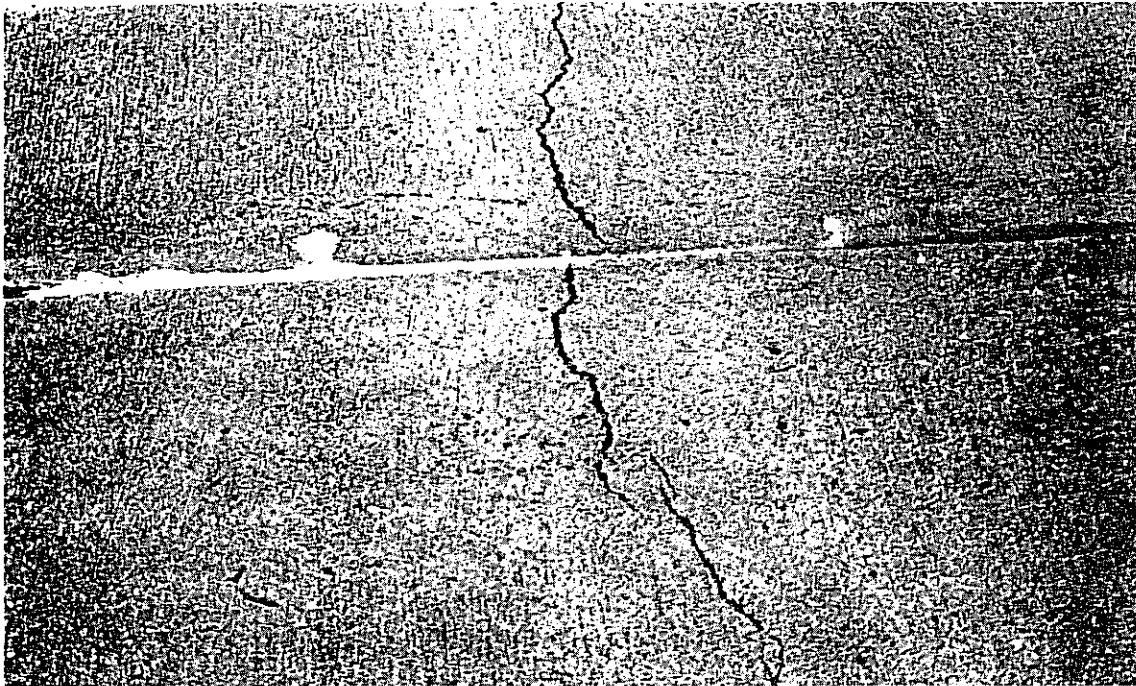


Figura 6. Fisuras moderadas

CAUSAS Y REPARACION DE DEFORMACION

La deformación es cualquier cambio de la superficie del pavimento de su forma original. La falla es uno de los tipos predominantes de deformación en pavimentos de hormigón. El bombeo no puede ser clasificado como deformación, pero es el resultado de fallas o losas deprimidas. Las principales causas de deformación son los suelos expansivos, suelos susceptibles a las heladas, y asentamiento de la fundación.

Si no es muy extensa, algunas formas de deformación, por ejemplo, asentamiento, pueden remediarse mediante el levantamiento de la losa hasta la rasante original. Un método para efectuarlo es bombeando bajo la losa un cemento asfáltico sellante, de alto punto de ablandamiento. Algunas veces la superficie del pavimento está tan deformada que la solución más económica es una capa de concreto asfáltico.

Fallas

Una falla (Figura 7) es una diferencia de elevación entre dos losas en una junta o una fisura. Las fallas generalmente se desarrollan por una inadecuada transferencia de cargas entre losas juntamente con la consolidación o contracción de volumen de capas subyacentes a las losas. Pueden ser provocadas además por la extrusión de material de fundación.

Si fuera posible las losas falladas deben ser llevadas a su nivel original con un subsellado de asfalto de alto punto de ablandamiento. La junta o grieta debe ser limpiada con arena, soplada con aire comprimido y parcialmente llenada con un sellador de junta de goma asfáltica, antes de comenzar el sellado. Después de levantar la losa deprimida hasta el nivel original, se rellena la junta o grieta con un compuesto de goma asfáltica. En algunos casos, puede ser necesario colocar parches del tipo cuña para nivelación y luego colocar una capa superficial de asfalto.

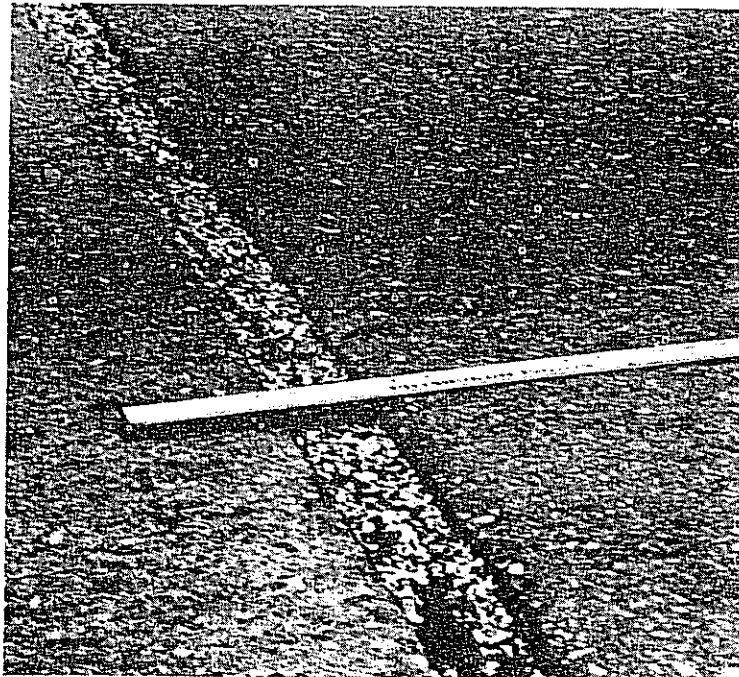


Figura 7. Falla

Bombeo

El bombeo es el movimiento de la losa hacia arriba y hacia abajo bajo el paso de las cargas, resultante de la expulsión, o bombeo, de arena, arcilla o limo muy húmedo. El bombeo puede ocurrir a lo largo de juntas y grietas longitudinales o transversales, y a lo largo de los bordes del pavimento, (Figura 8). La extrusión de material fino está causada por la presencia de agua libre sobre o dentro de la subrasante o sub-base. El movimiento ascendente o descendente de la losa causado por las cargas pesadas, fuerza a subir a esta agua que contiene una porción de subrasante o sub-base, a través de la grieta y salir a la superficie.

Los vacíos por debajo del pavimento deben ser rellenados con un sellador de cemento asfáltico de alto punto de ablandamiento. Esto también impermeabilizará a la subrasante y sub-base.

CAUSAS Y REPARACION DE LA DESINTEGRACION

La desintegración es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos. Esto incluye el desprendimiento de las partículas de agregado. Si no se detiene en sus estados primarios, puede progresar hasta que el pavimento requiera completa reconstrucción.



Figura 8. Bombeo

Los tipos más comunes de desintegración en pavimentos de hormigón que pueden ser tratados con asfalto son:

1. Estallido
2. Peladura
3. Descascaramiento

Estallido

Un estallido es el encurvamiento o fragmentación de un pavimento rígido (Figura 9 y 10) que ocurre usualmente en una fisura o junta transversal. La mayoría de los estallidos se producen en tiempos cálidos debido a que el calor hace que el pavimento se dilate excesivamente. La presión crece hasta que las losas no pueden resistir por más tiempo y se curvan o se fragmentan, desintegrándose a lo largo de las juntas o fisuras transversales.

La porción dañada de la losa se remueve por aserrado en un corte derecho y definido, con una sierra de pavimento. Si fuera necesario, la sub-base debe ser nivelada y luego imprimada. Se coloca un concreto asfáltico densamente graduado y cuidadosamente compactado. Si la zona no es suficientemente extensa como para un rodillo completo, se deben usar rodillos de plato vibratorio o apisonadores mecánicos. La superficie de bacheo debe terminarse al nivel del pavimento circundante.

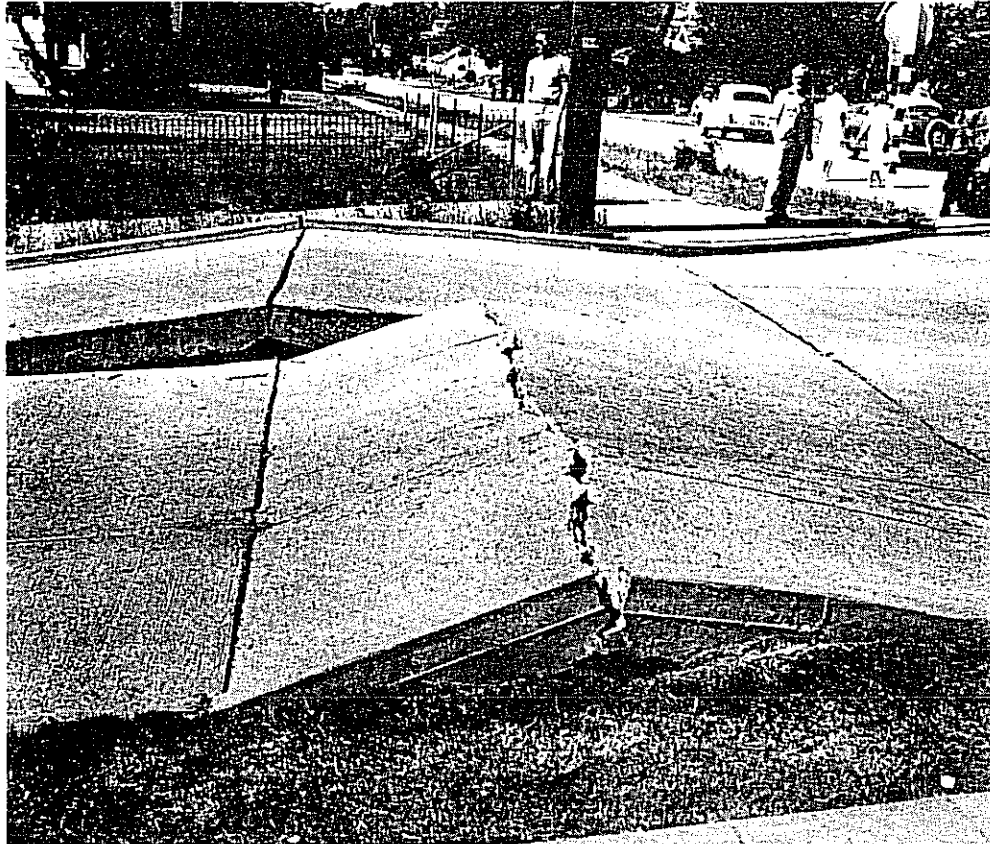


Figura 9. Estallido (alabeo)



Figura 10. Estallido (Fragmentación)

495

Peladura

La peladura es el descascaramiento de la superficie del pavimento de hormigón (Figura 11). En algunos casos la peladura avanza más profundamente dentro del pavimento. Una de las mayores causas de peladuras es la acción química de sales descongelantes. Otras causas son: el exceso de acabado, inadecuado ingreso de aire o mezclado, agregados no convenientes y curado inapropiado.

Si el área con peladuras es de 10 mm (3/8 pulg) de profundidad o menor puede usarse una escoba mecánica con cerdas de acero para desalojar las partículas sueltas. Después que el área ha sido cuidadosamente limpiada, se aplica una lechada asfáltica para restaurar la superficie a su nivel original.

Si la peladura es extensa y profunda, el pavimento debe ser recapado con concreto asfáltico.

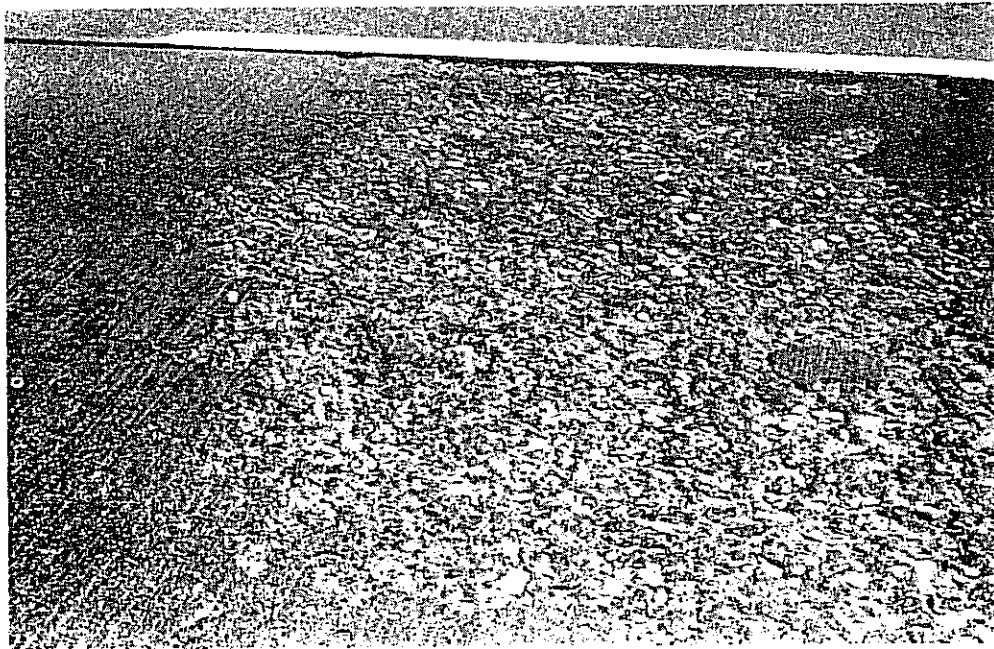


Figura 11. Peladura

Descascaramiento

La rotura o el desmenuzamiento del pavimento en las juntas, grietas o bordes se llama descascaramiento (Figura 12). Usualmente los fragmentos resultantes tienen cantos vivos. Este tipo de desintegración del pavimento puede ser causado por distintos factores. Algunas de las causas principales son los pedazos duros de grava alojados en una junta o grieta, dispositivos de transferencias de cargas inadecuadamente instalados, conformación y aserrado de juntas inapropiados y morteros pobres.

Las reparaciones pueden hacerse picando el área descascarada hasta el material sano, dándole a los bordes una forma cuadrada y tratando que las paredes estén lo más verticales posibles. Después que la zona se limpia cuidadosamente de material desprendido, se aplica un riego de liga y luego una mezcla de concreto asfáltico de graduación densa, compactando cuidadosamente.

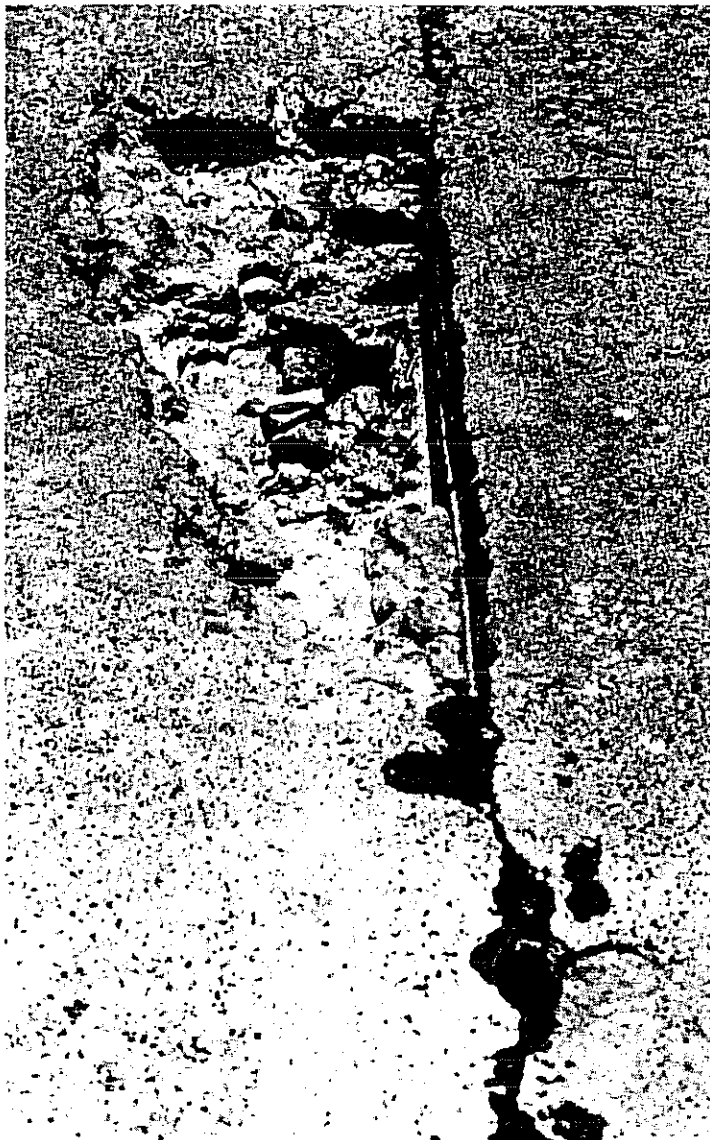


Figura 12. Descascamiento

ELIMINACION DE RIESGOS POR CALZADAS RESBALADIZAS

Causas

Un número de factores pueden hacer un pavimento resbaladizo cuando está mojado. La causa principal en pavimentos de hormigón son los agregados pulidos en la superficie. También se puede desarrollar por contaminación de la superficie.

La Figura 13 muestra partículas de agregados pulidos. Algunos comienzan a pulirse rápidamente bajo tráfico. Otros tales como algunos tipos de gravas, son naturalmente pulidos. Si se usan estos agregados sin triturar en la superficie del pavimento, pasan a ser un riesgo por resbaladizos. Los agregados pulidos son extremadamente resbaladizos cuando están húmedos.

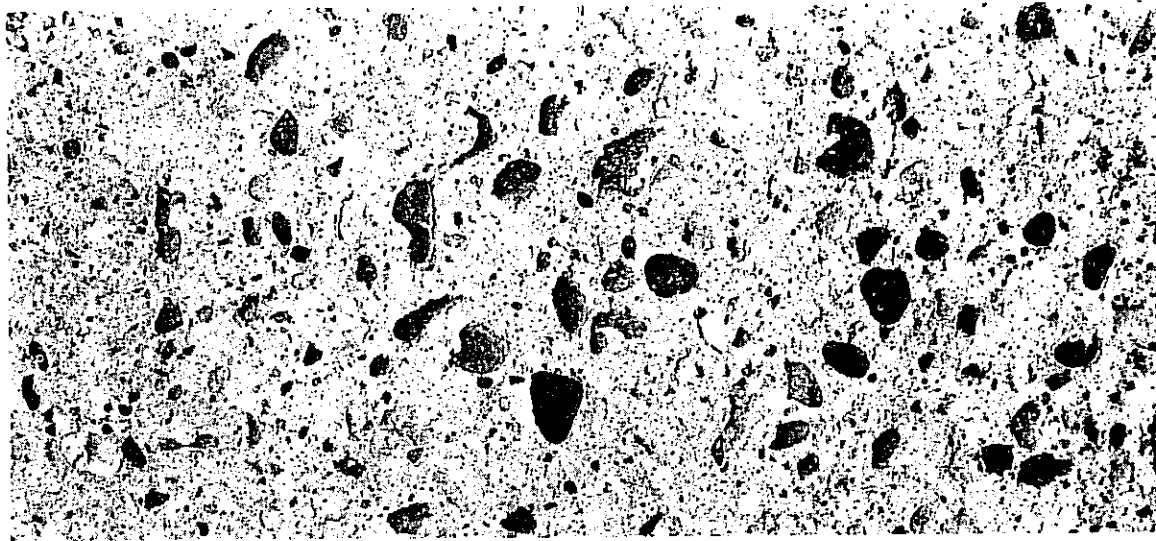


Figura 13. Agregado pulido en superficie de pavimentos

Reparación

El medio más económico y efectivo para reparar una superficie pavimentada con agregados pulidos es cubrir la superficie del pavimento con un tratamiento resistente al deslizamiento. Debe usarse una capa de concreto asfáltico que contenga agregados de cantos vivos, angulosos, no pulimentables. Para reducir la probabilidad de reflexión de grietas, la sobrecapa debe ser de por lo menos 115 mm (4,5 pulg.) de espesor.

TEMA L**RECICLADO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE*****Nota para el Instructor***

El reciclado en caliente de mezclas de pavimentos asfálticos es un proceso que en los últimos años se viene usando cada vez más y se ha transformado en una opción importante en la producción de concreto asfáltico. El interés por esto surgió por distintas circunstancias, entre las que se encuentran: la crisis energética que comenzó en 1973, la necesidad de un mejor uso del asfalto como ligante, el agotamiento de las fuentes de agregado de fácil extracción y los incrementos de los costos de producción.

En este capítulo se va a dar un lineamiento de los principios básicos de la operación de plantas de reciclado, que servirán como fundamento para que el técnico desarrolle el tema en el futuro, con más detalles específicos.

BIBLIOGRAFIA

1. "Guidelines for Recycling Pavement Materials", del Informe 224 del National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Setiembre de 1980.
2. "Surface Recycling of Asphalt Pavements by the Heater-Overlay Process", CL-24, Asphalt Institute.
3. "Asphalt Hot-Mix Recycling", MS-20, Asphalt Institute.

LECCION 1

RECICLADO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE

Objetivo: Describir los procedimientos y la instalación de la planta utilizados en la producción de concreto asfáltico reciclado en caliente.

INTRODUCCION	L 5
Fundamentos	L 5
Generalidades	L 5
DISEÑO DE LA MEZCLA RECICLADA EN CALIENTE	L 6
Generalidades	L 6
Etapas preliminares	L 6
Evaluación de los materiales	L 6
Diseño de la mezcla	L 7
MATERIALES RECUPERADOS	L17
Procedimientos de recuperación	L17
Clasificación por tamaños	L17
PRODUCCION	L17
Elaboración en planta	L17
Reciclado en planta discontinua	L18
Reciclado en tambor mezclador	L18
Tambor en un tambor	L19
Reciclado con alimentación dividida	L21
Convección a baja temperatura	L22
COLOCACION	L23
Distribución y compactación	L23

507 502

LECCION 1**RECICLADO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE****INTRODUCCION*****Fundamentos***

Las reparticiones federales, estatales y locales responsables de las facilidades para transporte, normalmente se enfrentan con ciertos problemas:

1. Reducción de los fondos disponibles debido a la inflación, disminución de los ingresos por los impuestos a combustibles y demandas fiscales para otros programas.
2. Problemas en el suministro de materiales por agotamiento de las fuentes cercanas al lugar de la obra; falta de aprovechamiento debido a las leyes zonales; distancias de transporte y costos mayores, y códigos ambientales que limitan la producción en ciertas áreas.
3. Problemas energéticos asociados a la disponibilidad de combustibles, a los costos y a la necesidad de reducir el consumo.

Por lo tanto, debido a todos estos problemas, surge una necesidad urgente de examinar el uso de agregados, ligantes, equipo, mano de obra, energía y fondos.

Una solución es reusar o reciclar los materiales existentes para la construcción, rehabilitación y mantenimiento. El reciclado de pavimentos asfálticos ofrece muchas ventajas: conservación de agregados, ligantes y energía y preservación del medio ambiente y de la geometría existente de la carretera.

Generalidades

El reciclado consiste en el reuso, generalmente luego de cierto tratamiento, del material que terminó de servir a su finalidad inicial. Abarca el reciclado superficial, el reciclado en frío y en caliente de mezclas, pero en este capítulo se va a estudiar sólo este último caso. Se aplican las siguientes definiciones.

1. Pavimento asfáltico recuperado (RAP) - materiales de pavimento removidos y/o reprocesados que contienen asfalto y agregados.
2. Material granular recuperado (RAM) - materiales de pavimento removidos y/o reprocesados que no contienen agente ligante reusable.
3. Reciclado de mezcla en caliente - Proceso en el cual se combinan materiales de pavimento asfáltico recuperados y materiales granulares recuperados, o ambos, con asfalto nuevo y/o agentes de reciclado y/o agregado nuevo, según la necesidad, en una planta central para producir mezclas para pavimentación en caliente. El producto terminado cumple con todas las especificaciones y requisitos constructivos para el tipo de mezcla producida.
4. Agente de reciclado - material orgánico con características químicas y físicas seleccionadas para devolverle al asfalto envejecido las condiciones deseadas.

DISEÑO DE LA MEZCLA RECICLADA EN CALIENTE

Generalidades

Esta sección presenta el proceso necesario, paso a paso, para establecer las proporciones del material recuperado, seleccionar la clase y cantidad de cemento asfáltico (más el agente de reciclado, si es necesario) y preparar el diseño final para la mezcla reciclada. Este es el método para reciclado en caliente, usando entre 20 y 70 por ciento de pavimento asfáltico recuperado. Las plantas discontinuas pueden manejar hasta un 50 por ciento (sin ningún método auxiliar para precalentar el RAP), siendo los límites aconsejables de 20 a 35 por ciento. Plantas con tambor mezclador pueden manejar hasta un 70%, con límites prácticos entre un 20 a 50%.

Etapas preliminares

Para el diseño de la mezcla se puede usar tanto el método Marshall como el de Hveem*, del siguiente modo:

Se combina el agregado proveniente de un pavimento asfáltico recuperado con materiales granulares recuperados y/o agregado nuevo, necesario para obtener una granulometría combinada que cumpla con los requisitos de las especificaciones. Una vez que se determinaron las proporciones relativas de los mismos, se calcula la demanda total de asfalto. Se selecciona la clase de asfalto nuevo (más el agente para reciclado, si es necesario) para restaurar al asfalto envejecido y obtener un ligante final que reuna las necesidades funcionales de las especificaciones del asfalto, satisfaciendo la demanda en la mezcla. Siguiendo estas determinaciones, se realiza el diseño de la mezcla por el procedimiento Marshall o Hveem y se determina la cantidad exacta del ligante total.

Evaluación de los materiales

El diseño de mezclas asfálticas para pavimentos que contengan más del 20 por ciento de pavimento asfáltico recuperado necesitan algunos ensayos de laboratorio además de los procedimientos usuales de Marshall o Hveem. Primero, se debe determinar la composición del pavimento asfáltico recuperado, lo que incluye:

- (a) Granulometría del agregado
- (b) Contenido de asfalto
- (c) Viscosidad del asfalto a 60°C (140°F)

Entonces se debe determinar la granulometría de los materiales granulares recuperados, si los hay. Con esta información se define la cantidad de cemento asfáltico nuevo que se necesita y la granulometría y cantidad de agregados adicionales.

El agregado y el asfalto de un pavimento asfáltico recuperado tienen propiedades que deben evaluarse por separado. Por lo tanto, es necesario extraer el asfalto envejecido de una muestra representativa del pavimento asfáltico recuperado.

- (a) *Evaluación del agregado* — Se realiza un tamizado según, ASTM C 136, en la porción de agregado de la muestra de pavimento asfáltico recuperado para determinar la granulometría. Se puede corregir cualquier deficiencia combinando fracciones apropiadas de agregado nuevo y/o recuperado, con agregado recuperado del pavimento asfáltico.

*Los métodos Marshall y Hveem para el diseño de la mezcla están descritos detalladamente en "Mix-Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types", MS-2, Asphalt Institute.

- (b) *Extracción* — Se debe usar el método ASTM D 2172 o equivalente. El propósito de la misma es la separación cuantitativa del agregado y el asfalto.
- (c) *Evaluación del asfalto* — La determinación del contenido de asfalto en el pavimento asfáltico recuperado se basa en los pesos relativos del asfalto y del agregado extraídos. El primero se recupera mediante disolución siguiendo el método ASTM D 1856. Se determina su consistencia en base a la viscosidad a 60°C (140°F), ASTM D 2171. Esta determinación es necesaria para estimar la cantidad necesaria y la clase de asfalto a usar en el diseño de la mezcla reciclada.

Diseño de la mezcla

Con la información obtenida de la evaluación de los materiales se deben establecer fórmulas para el diseño de la mezcla reciclada en caliente. La viscosidad a 60°C (140°F), ASTM D 2171, es el parámetro de ensayo usado en este procedimiento para identificar el asfalto en el pavimento asfáltico recuperado y en la mezcla reciclada.

En la Figura 1 hay un diagrama de secuencias con los pasos a seguir en este procedimiento de diseño, que son:

- (1) *Agregados combinados en la mezcla reciclada* — Usando la granulometría del agregado obtenido del pavimento asfáltico, del material granular recuperado, si lo hay, y el agregado nuevo se calcula una granulometría combinada que reúna los requerimientos deseados.
- (2) *Demanda de asfalto, en porcentaje de los agregados combinados* — Se la puede determinar por el CKE (Equivalente Centrifugo Kerosene) o calcularla por la fórmula empírica siguiente:

$$P_c = 0,035a + 0,045b + 0,15c \text{ para } 11\text{--}15 \text{ por ciento que pasa el tamiz de } 75 \mu\text{m (N}^\circ 200) + F$$

$$0,18c \text{ para } 6\text{--}10 \text{ por ciento que pasa el tamiz de } 75 \mu\text{m (N}^\circ 200)$$

$$0,20c \text{ para } 5 \text{ por ciento o menos que pasa el tamiz de } 75 \mu\text{m (N}^\circ 200).$$

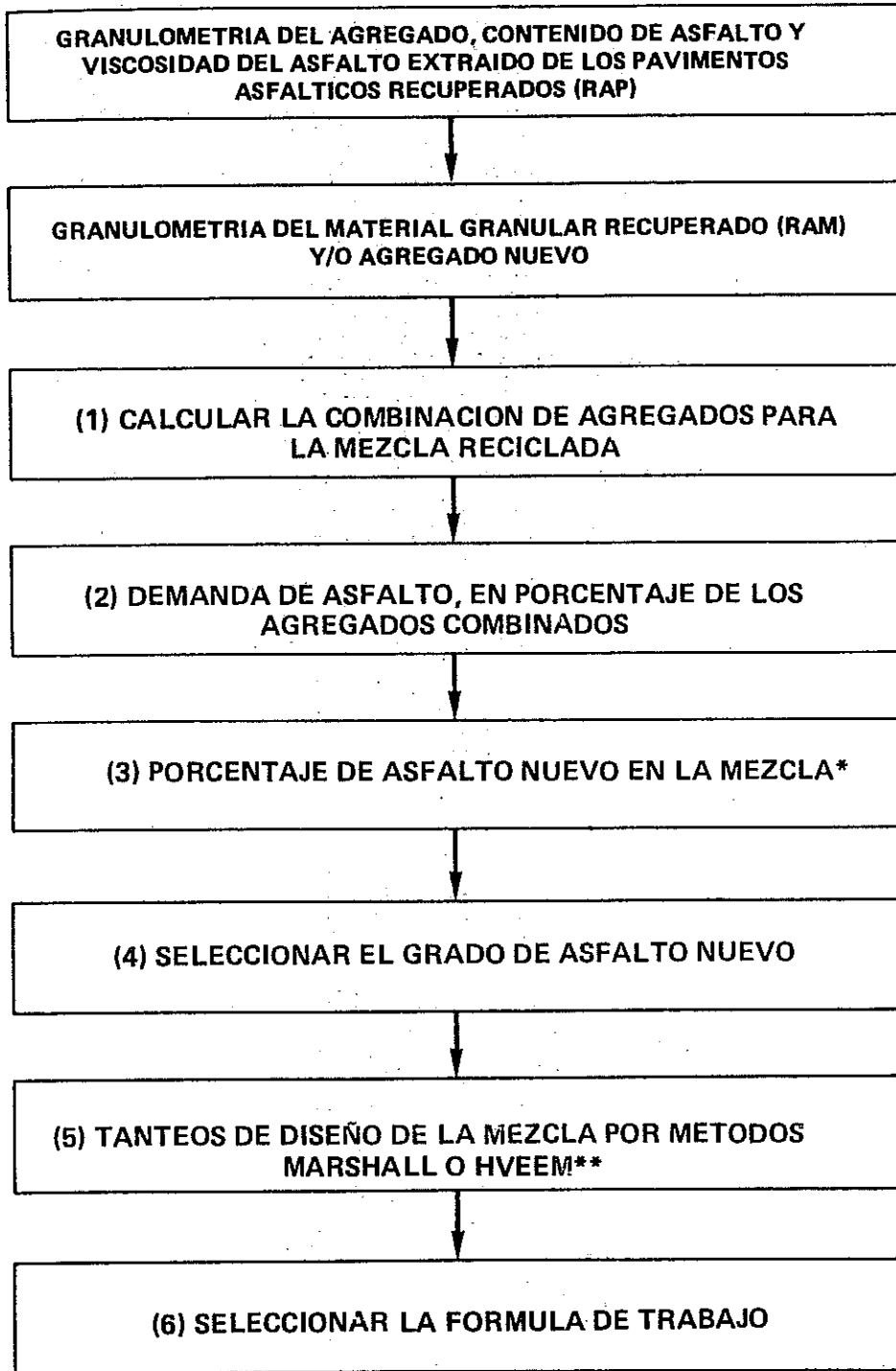
Donde:

- P_c = porcentaje* en peso de material asfáltico en la mezcla total
- a = porcentaje* de agregado mineral retenido en el tamiz de 2,36 mm (N°8)
- b = porcentaje* de agregado mineral que pasa el tamiz de 2,36 mm (N°8) y es retenido en el tamiz de 75 μm (N°200)
- c = porcentaje* de agregado mineral que pasa el tamiz de 75 μm (N°200)

F = 0 a 2,0 por ciento. Basado en la absorción de agregados livianos o pesados. La fórmula se basa en un peso específico promedio de 2,60 a 2,70. En ausencia de otros datos, se puede tomar un valor de 0,7 a 1,0 que abarcan la mayoría de las condiciones.

*Expresado como número entero

- (3) *Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla* — La cantidad de asfalto nuevo que hay que adicionar a las mezclas recicladas es igual a la demanda de asfalto calculada (Paso 2) menos el porcentaje de asfalto del pavimento asfáltico recuperado.



* EN ALGUNOS CASOS, SE DEBE INCORPORAR AGENTE DE RECICLADO.

**MIX DESIGN METHODS FOR ASPHALT CONCRETE AND OTHER HOT MIX TYPES", MS-2, THE ASPHALT INSTITUTE.

Figura 1. Diagrama de secuencias para el diseño de la mezcla

Sob

La fórmula es:

$$P_r = P_c - (P_a \times P_p)$$

Donde:

P_r = Porcentaje* de asfalto nuevo en la mezcla reciclada.

P_c = Porcentaje* en peso de asfalto en la mezcla total (Paso 2)

P_a = Porcentaje* en peso de asfalto** en el pavimento asfáltico reciclado.

P_p = Porcentaje decimal de pavimento asfáltico recuperado en la mezcla reciclada.

* Expresado como numero entero

**Más el agente de reciclado, si se lo usa.

- (4) *Seleccionar el grado de asfalto nuevo* — Usando la Figura 2, se selecciona la viscosidad a la que se quiere llegar con la combinación de asfaltos. Comúnmente se selecciona una viscosidad intermedia similar a la de un asfalto AC-20 con una viscosidad de 2000 poises

La cantidad de cemento asfáltico nuevo se expresa como porcentaje del contenido total de ligante dividiendo el porcentaje de asfalto nuevo por la demanda calculada en la mezcla multiplicado por cien ($P_r/P_c \times 100$).

El punto de intersección entre la línea vertical que representa el porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla y la línea horizontal que representa a la viscosidad pretendida, se lo denomina como punto A. Luego, se grafica en el eje vertical izquierdo, la viscosidad del asfalto envejecido recuperado del pavimento, obteniendo el punto B. Se unen estos dos puntos con una línea recta, haciéndola llegar hasta el eje vertical derecho. Si esta intersección determina un asfalto de un grado inferior al rango del AC-2,5, se debe agregar un agente de reciclado, o reducir la cantidad de RAP usada en la mezcla reciclada. (Ver ejemplo de Diseño 2, donde se usa un agente de reciclado junto con el asfalto nuevo).

- (5) *Tanteos de diseño de la mezcla* — Se hacen tanteos usando el método Marshall o Hveem. El contenido de asfalto se puede ajustar cambiando la cantidad de asfalto nuevo hasta llegar a una mezcla que cumpla con el criterio del procedimiento de diseño usado.

- (6) *Seleccionar la fórmula de trabajo.*

Ejemplo de Diseño 1

El pavimento asfáltico recuperado tiene un contenido de asfalto de 5,4 por ciento con una viscosidad de 120.000 poises. La granulometría del RAP, RAM y agregado nuevo es:

Tamiz	RAP	% que pasa RAM	Agregado nuevo
25.0 mm (1 plg.)	100	100	100
19.0 mm (¾ plg.)	98	92	100
9.5 mm (¾ plg.)	85	45	100
4.75 mm (No. 4)	65	19	94
2.36 mm (No. 8)	52	5	85
300 µm (No. 50)	22	1	26
75 µm (No. 200)	8	0	6

Se eligió un treinta por ciento de RAP porque (1) la planta a usar para el reciclado era discontinua, (2) el contenido de humedad del RAP era de 5 por ciento y (3) es un rango práctico para mantener las producciones de mezcla.

+ Las relaciones entre distintos sistemas de graduación de cementos asfálticos pueden verse en la Figura 4.

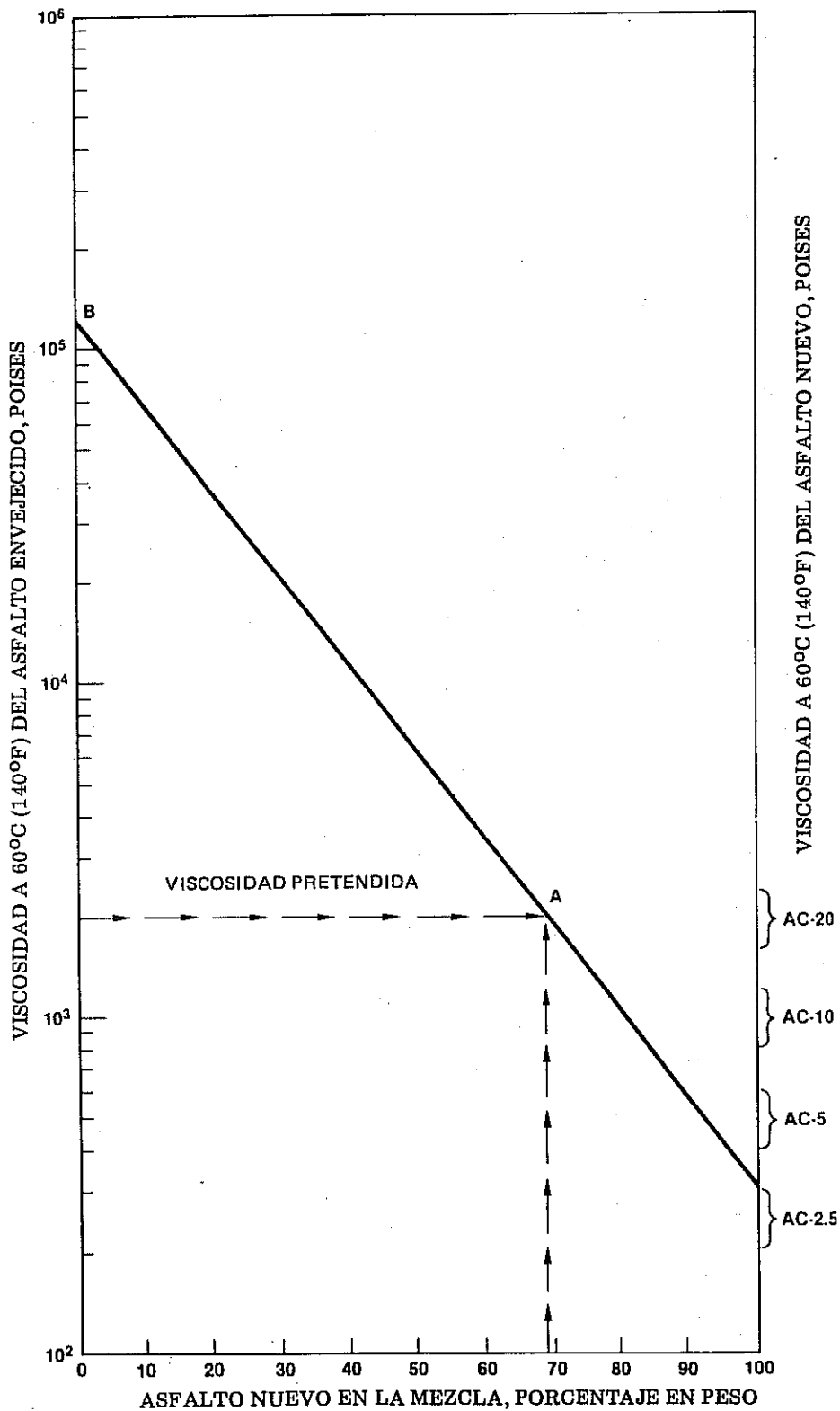


Figura 2. Diagrama para la combinación de cemento asfáltico recuperado y cemento asfáltico nuevo: Ejemplo 1

508

PASO 1 — Agregados combinados en la mezcla reciclada

Tamiz	30% Agregado, R.A.P.		60% Agregado R.A.M.		10% Agregado Nuevo		= Agregados Combinados % Pasa.
	% Pasa	+ % Pasa	+ % Pasa	+ % Pasa	+ % Pasa	+ % Pasa	
25.0 mm (1 plg.)	[100 × 0.3 = 30.0]	+ [100 × 0.6 = 60.0]	+ [100 × 0.1 = 10.0]	=	100.0		
19.0 mm (3/4 plg.)	[98 × 0.3 = 29.4]	+ [92 × 0.6 = 55.2]	+ [100 × 0.1 = 10.0]	=	94.6		
9.5 mm (3/8 plg.)	[85 × 0.3 = 25.5]	+ [45 × 0.6 = 27.0]	+ [100 × 0.1 = 10.0]	=	62.5		
4.75 mm (No. 4)	[65 × 0.3 = 19.5]	+ [19 × 0.6 = 11.4]	+ [94 × 0.1 = 9.4]	=	40.3		
2.36 mm (No. 8)	[52 × 0.3 = 15.6]	+ [5 × 0.6 = 3.0]	+ [85 × 0.1 = 8.5]	=	27.1		
300 μm (No. 50)	[22 × 0.3 = 6.6]	+ [1 × 0.6 = 0.6]	+ [26 × 0.1 = 2.6]	=	9.8		
75 μm (No. 200)	[8 × 0.3 = 2.4]	+ [0 × 0.6 = 0]	+ [6 × 0.1 = 0.6]	=	3.0		

Especificación de obra
ASTM D 3515, Tabla 3
3/4 pulg. (19mm) nominal

Tamiz	Límites	% Pasa	Agregados combinados % Pasa
25.0 mm (1 plg.)	100		100.0
19.0 mm (3/4 plg.)	90 - 100		94.6
9.5 mm (3/8 plg.)	56 - 80		62.5
4.75 mm (No. 4)	35 - 65		40.3
2.36 mm (No. 8)	23 - 49		27.1
300 μm (No. 50)	5 - 19		9.8
75 μm (No. 200)	2 - 8		3.0

09 CAI

PASO 2 — Demanda de asfalto de los agregados combinados.

Para estimar la necesidad de asfalto de los agregados combinados se usa la fórmula empírica:

$$P_c = 0,035 a + 0,045 b + 0,20 c + F$$

$$\begin{aligned} P_c &= (0,035) (72,9) + (0,045) (24,1) + (0,20) (3,0) + (1,0). \\ &= 5,23 \text{ por ciento.} \end{aligned}$$

PASO 3 — Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla

$$\begin{aligned} P_r &= P_c - (P_a \times P_p) \\ &= 5,23 - (5,4 \times 0,30) \\ &= 5,23 - 1,62 \\ &= 3,61 \text{ por ciento} \end{aligned}$$

PASO 4 — Selección del grado de asfalto nuevo

En la Figura 2 se ubica al punto A para una viscosidad pretendida de 2.000 poises y $P_r/P_c \times 100 = 3,61/5,23 \times 100 = 69$ por ciento. El punto B es la viscosidad de 120.000 poises del asfalto envejecido. La clase más cercana a la línea proyectada es la AC-2,5 (AR-1000 ó 200/300 penetración de la Figura 4).

PASO 5 — Tanteo de diseño de la mezcla

Usando 30 por ciento de RAP, 60 por ciento de RAM y 10 por ciento de agregado nuevo se preparan probetas, con ensayos programados para incrementos de 0,5 por cien de asfalto nuevo, por encima y por debajo de la cantidad estimada de asfalto nuevo necesario en la mezcla (Paso 3—3,61 por ciento) acordes a los procedimientos normales de diseño Marshall o Hveem.

PASO 6 — Selección de la fórmula de trabajo.

El contenido óptimo de asfalto nuevo se determina según el criterio Marshall o Hveem de diseño de mezclas.

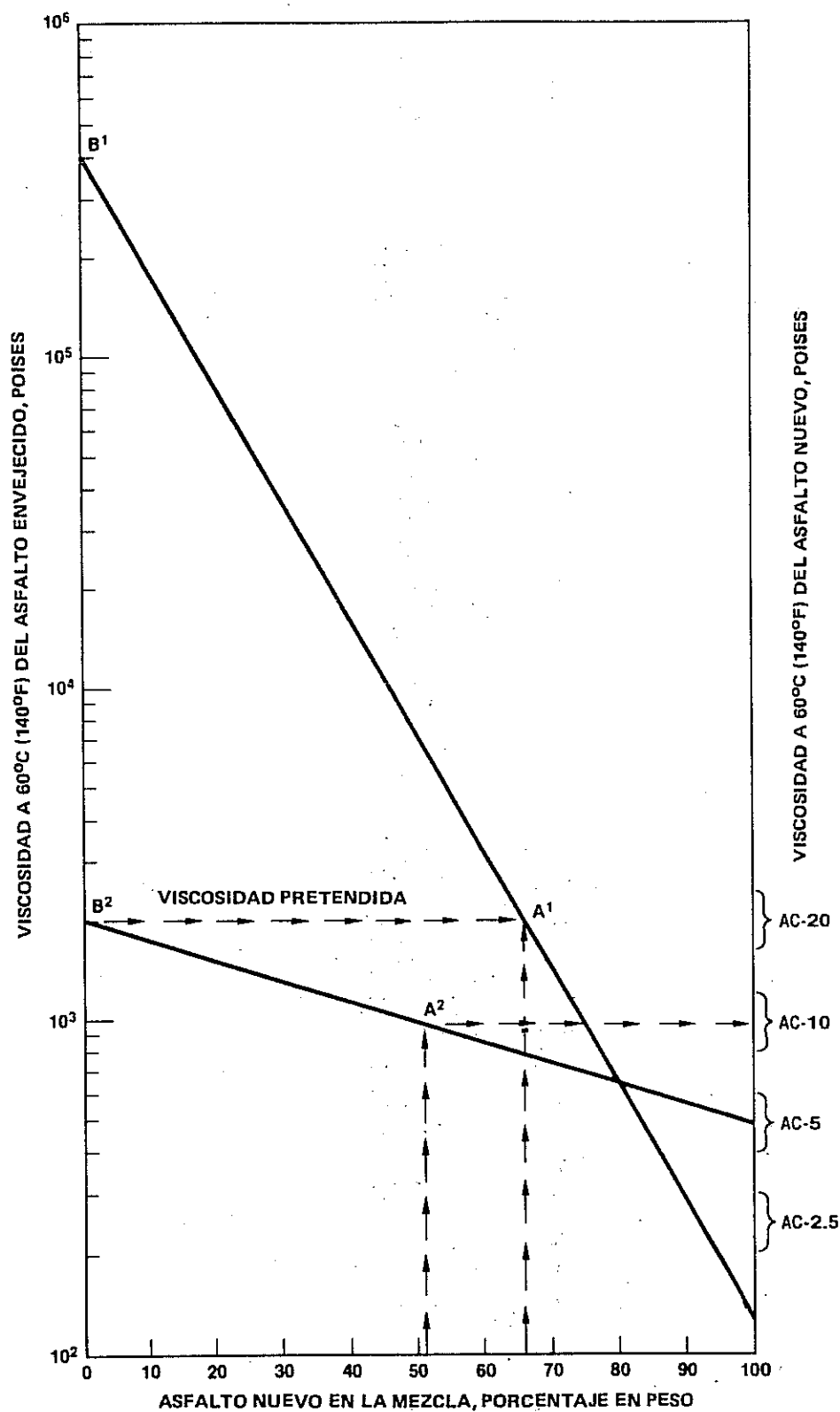


Figura 3. Diagrama para la combinación de cementos asfálticos recuperados y nuevos: Ejemplo 2

511 54

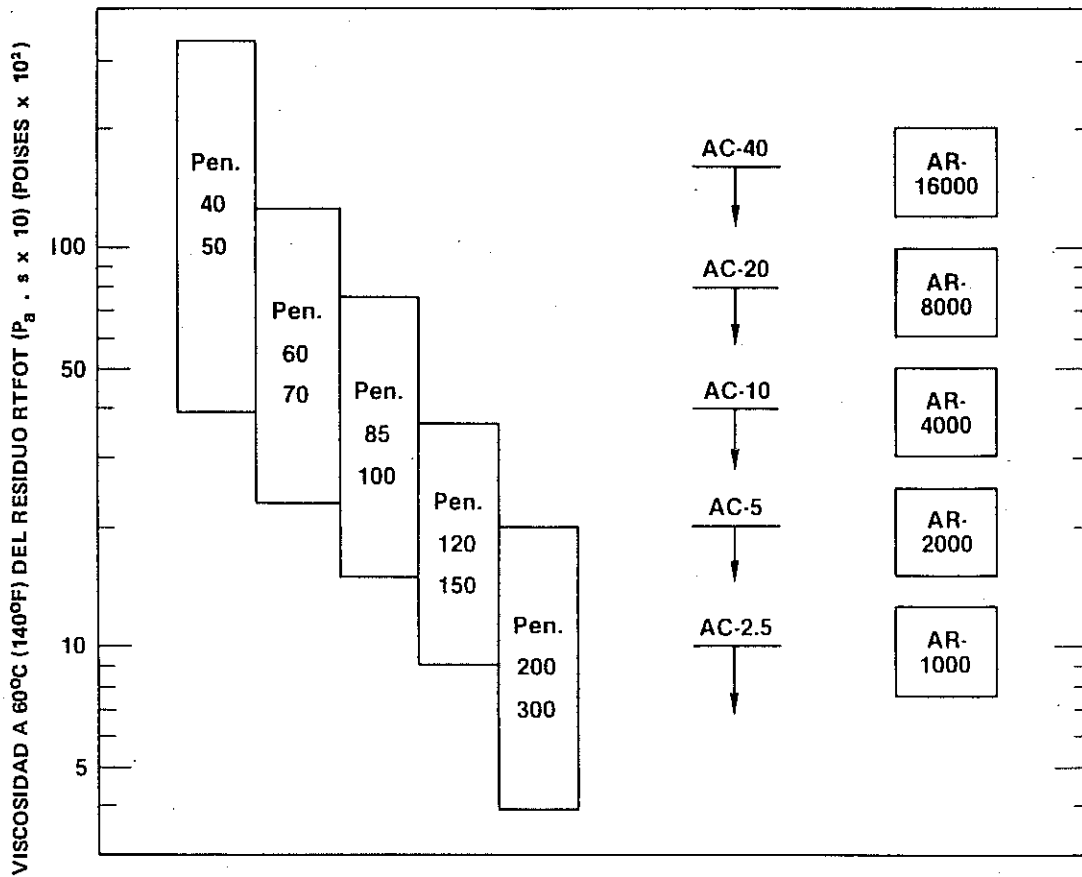


Figura 4. Comparación de grados de penetración y grados de viscosidad de cementos asfálticos (basados en el residuo RTFOT, para los grados AR y los grados por penetración; y en el residuo TFOT, para los grados AC)

Ejemplo de Diseño 2

El pavimento asfáltico recuperado tiene un contenido de asfalto de 6,0 por ciento; con una viscosidad de 400.000 poises. Las granulometrías del RAP, RAM y agregado nuevo son las mismas que para el Ejemplo 1.

PASOS 1 y 2 — Iguales que en el ejemplo 1

PASO 3 — Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla

$$\begin{aligned}
 P_r &= P_c - (P_a \times P_p) \\
 &= 5,23 - (6,0 \times 0,30) \\
 &= 3,43 \text{ por ciento}
 \end{aligned}$$

314 512

PASO 4 — Selección del grado de *ásfalto nuevo*

Usando la Figura 3, el punto A¹ se ubica con una viscosidad pretendida de 2.000 poises y $P_r/P_c \times 100 = 3,43/5,23 \times 100 = 66$ por ciento. El punto B¹ es la viscosidad de 400.000 poises de *ásfalto envejecido*. La recta que une estos dos puntos intersecta al eje derecho debajo del rango de un AC-2,5.

En este proyecto se debe mantener la cantidad de RAP en 30 por ciento por lo tanto se usa la Figura 5 para determinar el porcentaje de agente de reciclado necesario para reducir la viscosidad del *ásfalto envejecido* a 2.000 poises. Se traza una línea (Figura 5) desde el punto B¹ (400.000 poises) en el eje izquierdo hasta una viscosidad seleccionada para el agente de reciclado de 1,5 poises (Punto x) en el eje derecho. (Este punto x va a variar con la clase de agente de reciclado). En este ejemplo, para 2.000 poises, la cantidad de agente de reciclado es 42 por ciento del *ásfalto envejecido*.

Se recalcula el Paso 3:

$$P_r = P_c - (P_a' \times P_p)$$

Donde:

P_a' = porcentaje de *ásfalto envejecido* más agente de reciclado

$$P_a = 6,0 + (6,0 \times 0,42)$$

$$= 8,52 \text{ por ciento.}$$

$$P_r = 5,23 - (8,52 \times 0,30)$$

$$= 2,67 \text{ por ciento (ásfalto nuevo)}$$

Este ejemplo es de una calzada de tránsito pesado en donde el ingeniero de diseño le da importancia a la canalización y usa normalmente un AC-10 en la mezcla. Se puede usar la Figura 3 para la combinación. El *ásfalto envejecido* reducido a 2.000 poises (punto B²) se grafica en el eje izquierdo. El punto A² se grafica en esta línea a $P_r/P_c = 2,67/5,23 \times 100 = 51$ por ciento. Una línea horizontal proyectada desde este punto al eje derecho indica una mezcla en el rango de un AC-10.

PASO 5 — *Tanteo de diseño de la mezcla*

Usando 30 por ciento de RAP, 60 por ciento de RAM y 10 por ciento de agregado nuevo preparar probetas con ensayos programados en la base de mantener 0,76 por ciento de agente de reciclado constante (6,0 por ciento \times 0,42 RAM \times 0,30 RAP) y variar el *ásfalto nuevo* (AC-5) en incrementos de 0,5 por ciento por encima y por debajo de la cantidad estimada de *ásfalto nuevo* necesario en la mezcla (2,67 por ciento), acorde a los procedimientos normales Marshall o Hveem de diseño de mezclas.

PASO 6 — *Selección de la fórmula de trabajo*

El contenido óptimo de *ásfalto nuevo* y el diseño de la mezcla se determina según el criterio Marshall o Hveem.

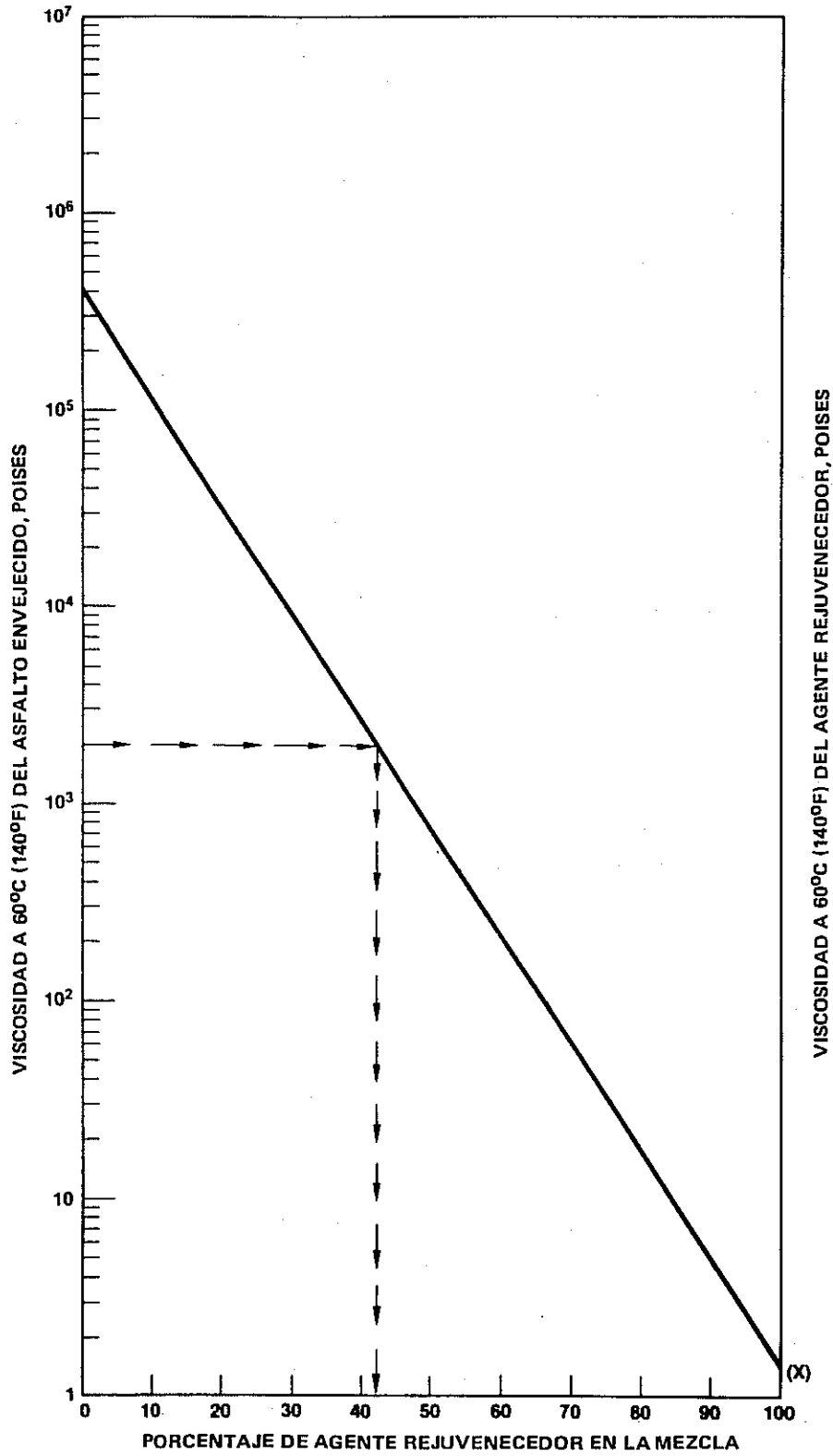


Figura 5. Diagrama para mezclar asfalto recuperado (envejecido) y agente rejuvenecedor.

514

MATERIALES RECUPERADOS

Procedimientos de recuperación

Las técnicas para extraer los materiales de pavimentos viejos son: (1) escarificado y trituración y (2) molienda en frío.

En la operación de escarificación y trituración se usan rasgadores, apisonadores de tipo parrilla o escarificadores, para desmenuzar la mezcla asfáltica vieja del pavimento y luego se la transporta a una instalación de trituración y tamizado. Otra alternativa es que la mezcla desmenuzada sea pulverizada en la calzada por una trituradora de martillos o con más pasadas de apisonadoras tipo parrillas. En este último caso es más difícil la separación por tamaños del material y la separación de la mezcla asfáltica recuperada del material granular.

Las máquinas de cortado en frío pueden cortar las superficies de pavimento asfáltico a profundidades controladas. En este proceso se reduce el pavimento al tamaño máximo de partícula deseado que depende de la profundidad del corte y de la velocidad del equipo de cortar en frío.

Luego de extraer las capas tratadas de asfalto, se escarifica el agregado remanente y se lo saca con cargadores u otro equipo convencional para incorporarlo en la mezcla a reciclar.

Clasificación por tamaños

El grado hasta el cual los materiales recuperados deben tratarse luego de extraídos depende del método de extracción y de las exigencias del diseño de la mezcla. Los pavimentos asfálticos y materiales granulares recuperados deben procesarse por separado. El pavimento asfáltico recuperado por escarificación debe triturarse y tamizarse. Algunos materiales recuperados pueden requerir una trituración para reducir el tamaño máximo de la partícula a límites aceptables.

No se le deben sacar los finos porque contienen una gran parte del asfalto envejecido a reciclar.

PRODUCCION

Elaboración en planta

Si se alimenta el pavimento asfáltico recuperado en una planta asfáltica en caliente, en la forma en que se trata normalmente al agregado, el mismo se recalienta; el asfalto se vaporiza y despidе humo azul. Entonces, se deben cambiar las operaciones de la planta para acomodarla al reciclado de mezclas en caliente y para cumplir con las exigencias federales respecto a las emisiones de una planta. Aquí se van a explicar sólo algunos de los procedimientos más usados, aunque hay muchas variaciones más.

Ambas plantas, las discontinuas y las de tambor mezclador, se han modificado para que produzcan mezclas en caliente recicladas. También se fabrican plantas diseñadas expresamente para reciclado. Debido a la variedad de procesos involucrados, se va a estudiar por separado cada tipo de planta.

515

Reciclado en planta discontinua

El reciclado en planta discontinua se realiza mezclando el pavimento asfáltico recuperado con agregado nuevo sobrecalentado*. El tratamiento se ilustra en la Figura 6.

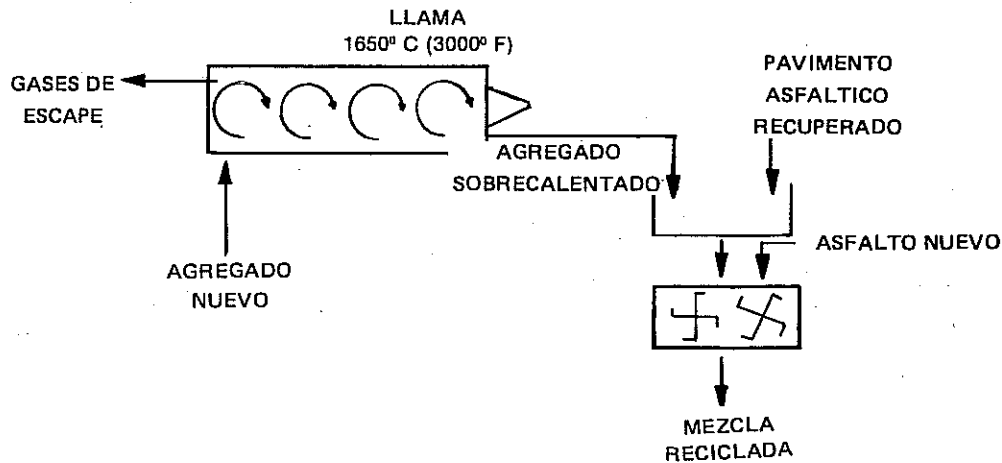


Figura 6. Reciclado en planta discontinua

Se sobrecalienta el agregado nuevo, en un secador convencional, antes de colocarlo en las tolvas de almacenamiento de agregado caliente. Desde éstas, se lo dosifica en la tolva de pesaje junto con el pavimento asfáltico recuperado. La Figura 7 muestra la conducción del pavimento asfáltico recuperado hacia la tolva de pesada indicada por la flecha. En la mezcladora, se mezcla el asfalto nuevo con los demás materiales. La transferencia de calor desde el agregado nuevo sobrecalentado al pavimento asfáltico recuperado se produce por conducción dentro de la tolva de pesaje y de la mezcladora y continúa en el sistema de compensación o en el camión, camino a la obra.

Reciclado en tambor mezclador

En el funcionamiento normal de una planta de mezcla en tambor, los agregados se calientan, secan y mezclan con el asfalto, en el tambor mezclador. En los primeros intentos para reciclado en estas plantas, se obtenían mezclas satisfactorias, pero las instalaciones no eran capaces de cumplir con las normas mínimas de contaminación del aire. La exposición del pavimento asfáltico recuperado a la llama del quemador y a los gases de combustión extremadamente calientes, generaban excesivo humo azul. Con frecuencia había compuestos de agregados finos y asfalto en las aletas metálicas y en las placas finales, que también contribuían a este problema. Los contratistas y fabricantes de instalaciones usaron distintos esquemas para modificar las plantas existentes, con el objeto de superar los problemas de contaminación. Los métodos que dieron resultados se reflejan en el diseño de las nuevas plantas de reciclado de mezclas en caliente.

* El material granular recuperado puede combinarse con o sustituirse por agregado nuevo, obteniendo una calidad y una granulometría que cumplan con las especificaciones.

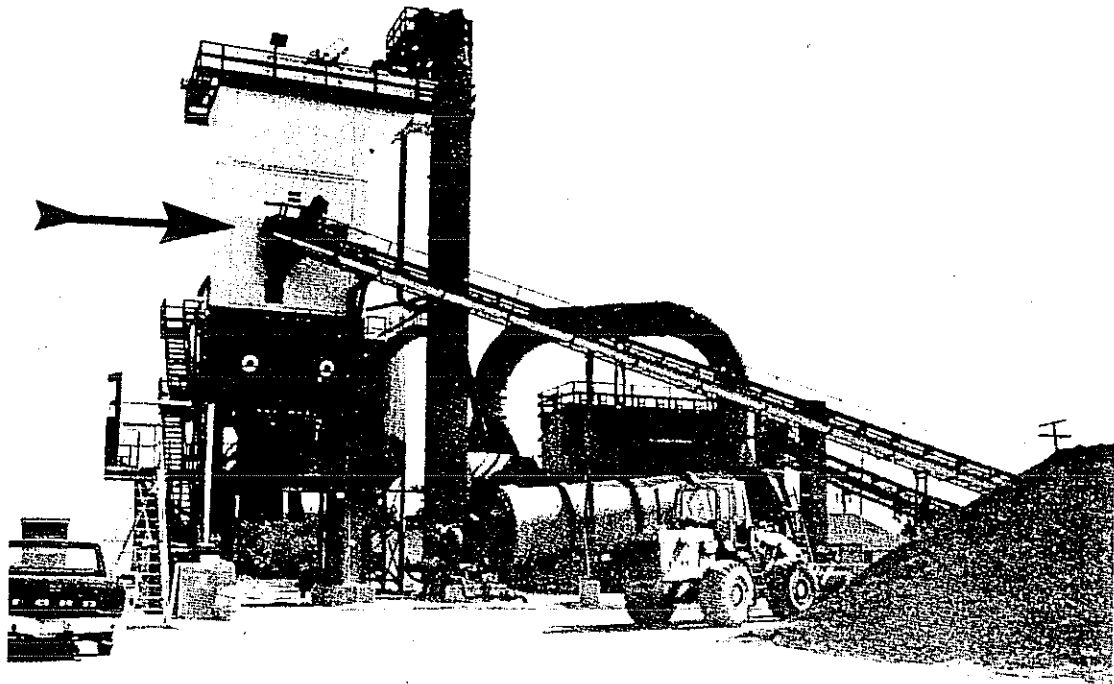


Figura 7. Reciclado en planta discontinua
(Cortesía de Barber-Greene Company)

Tambor en un tambor

La Figura 8 ilustra el concepto de un tambor dentro de otro tambor.

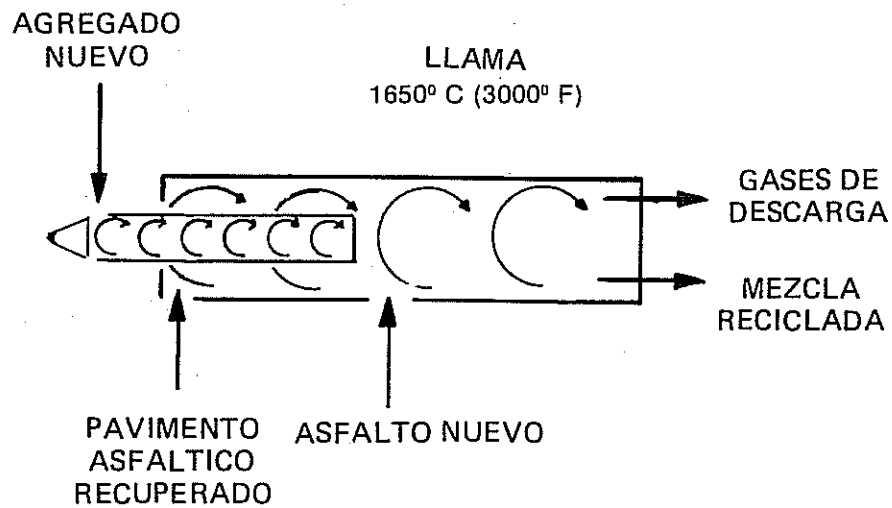


Figura 8. Tambor dentro de un tambor

Se inserta un tambor de menor diámetro en el extremo de carga de una unidad convencional. El agregado nuevo es alimentado dentro del mismo, donde se lo calienta a 150–260°C (300–500°F). Los gases de combustión se canalizan a través del tambor interior. La cortina de agregados los enfría evitando una oxidación excesiva del asfalto y la formación de humo azul. El pavimento asfáltico recuperado se introduce en el tambor exterior. Cuando cae en forma de cascada sobre el tambor interior, se calienta. Se inyecta el asfalto nuevo* en un punto mas bajo del tambor. El mezclado y la transferencia de calor se producen pasando este punto. En la Figura 9 se ilustra un detalle del tambor dentro de un tambor.

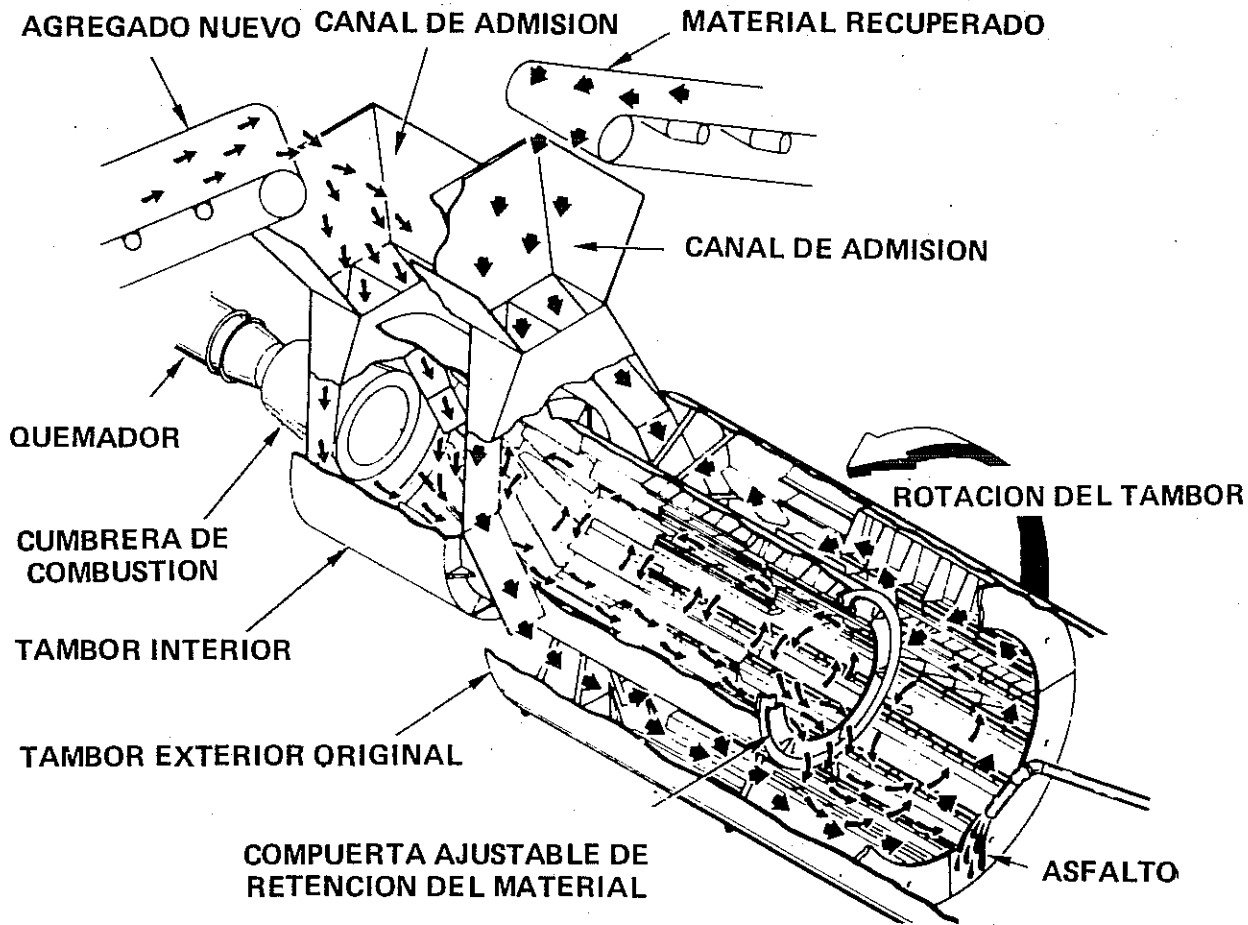


Figura 9. Detalles del tambor dentro de un tambor
(Cortesía de IOWA Manufacturing Company)

* A veces el agente de reciclado puede agregarse o substituirse por asfalto nuevo.

Reciclado con alimentación dividida

La Figura 10 es un esquema de una planta de tambor equipada para reciclado con alimentación dividida.

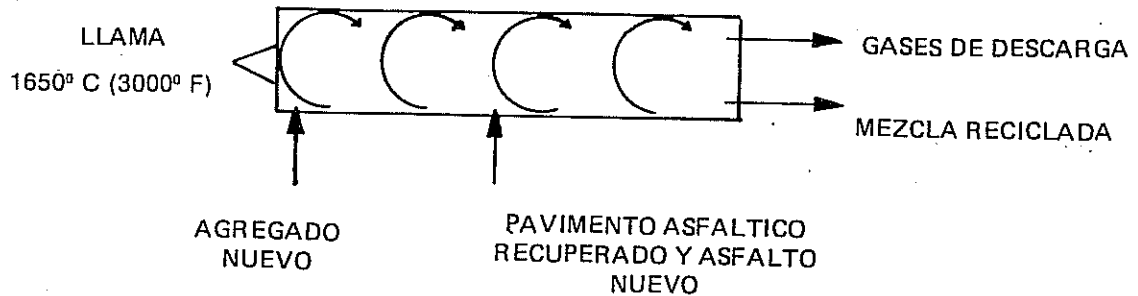


Figura 10. Reciclado con alimentación dividida

Algunos fabricantes producen plantas de mezcla en tambor, con un acceso por alimentación dividida. En todas ellas, el agregado no tratado entra al tambor en el extremo del quemador. Se lo seca y sobrecalienta. Se junta al pavimento asfáltico recuperado en un punto lo suficientemente alejado del quemador para que no entre en contacto con la llama y los gases extremadamente calientes. Según el tipo de planta, el pavimento asfáltico recuperado puede entrar al tambor a través de aberturas en la zona central. Se agregan el cemento asfáltico nuevo, el agente de reciclado o ambos. El mezclado se realiza en la mitad inferior del tambor (Figura 11).

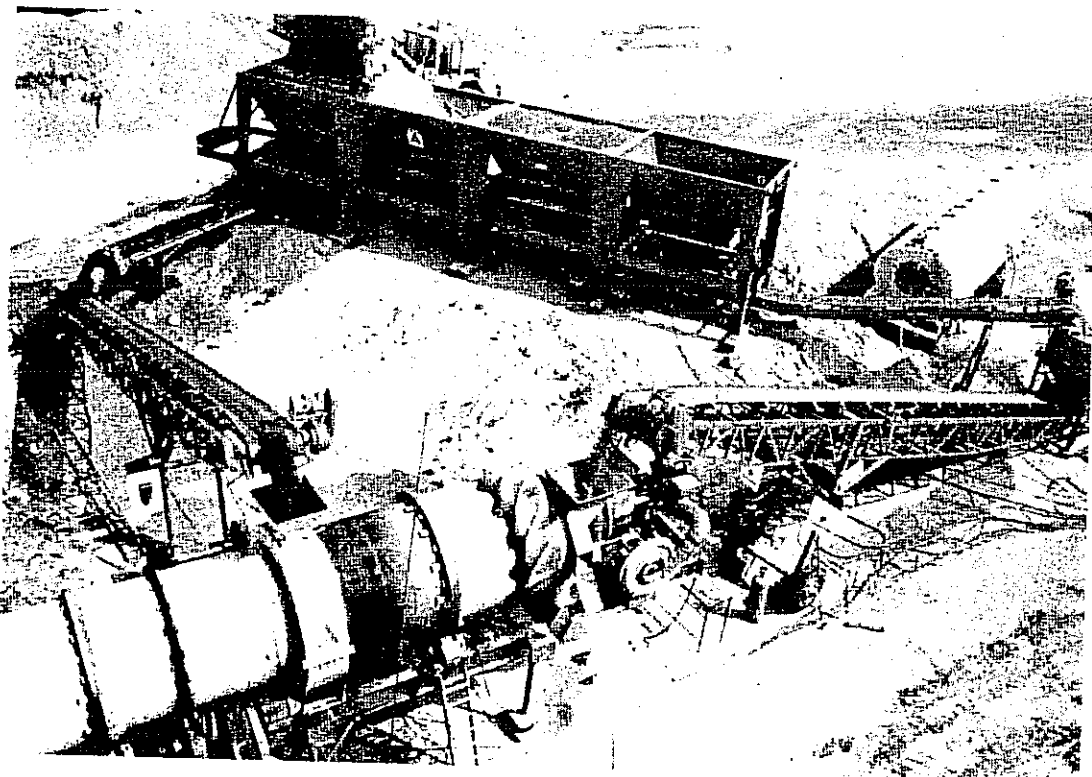


Figura 11. Tambor mezclador con alimentación dividida
(Cortesía de CMI Corporation)

519 528

Convección a baja temperatura

La Figura 12. es un esquema de un tambor mezclador con convección a baja temperatura.

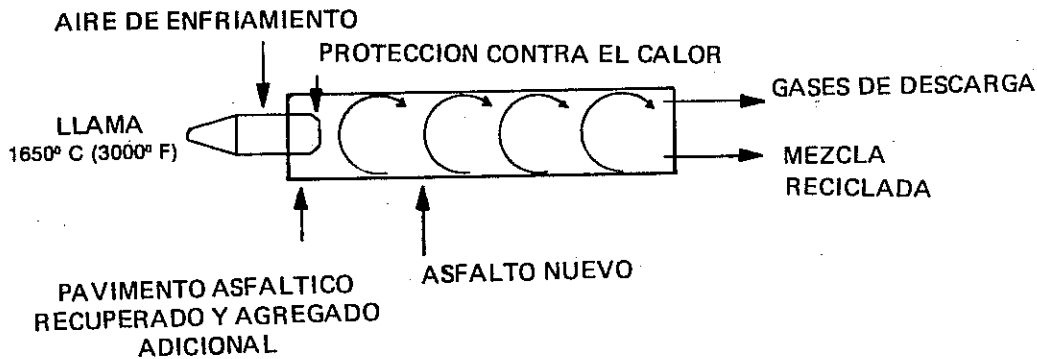


Figura 12. Tambor mezclador con convección a baja temperatura

Se inserta una cámara de combustión con una defensa cónica entre el quemador y el tambor para el calor. Se hace entrar aire de refrigeración antes que los gases de combustión pasen a través de esta defensa que funciona como un cono de mezclado, descargando gases de combustión a temperatura y velocidad uniformes.

El pavimento asfáltico recuperado, sólo o con el material granular agregado, entra al tambor en el extremo del quemador. Se puede agregar agua a los materiales combinados antes de que entren al tambor. Se introducen el cemento asfáltico nuevo, el agente de reciclado, o ambos, a los materiales calentados durante la fase de secado del proceso. La mezcla se descarga por el extremo inferior del tambor (Figura 13).

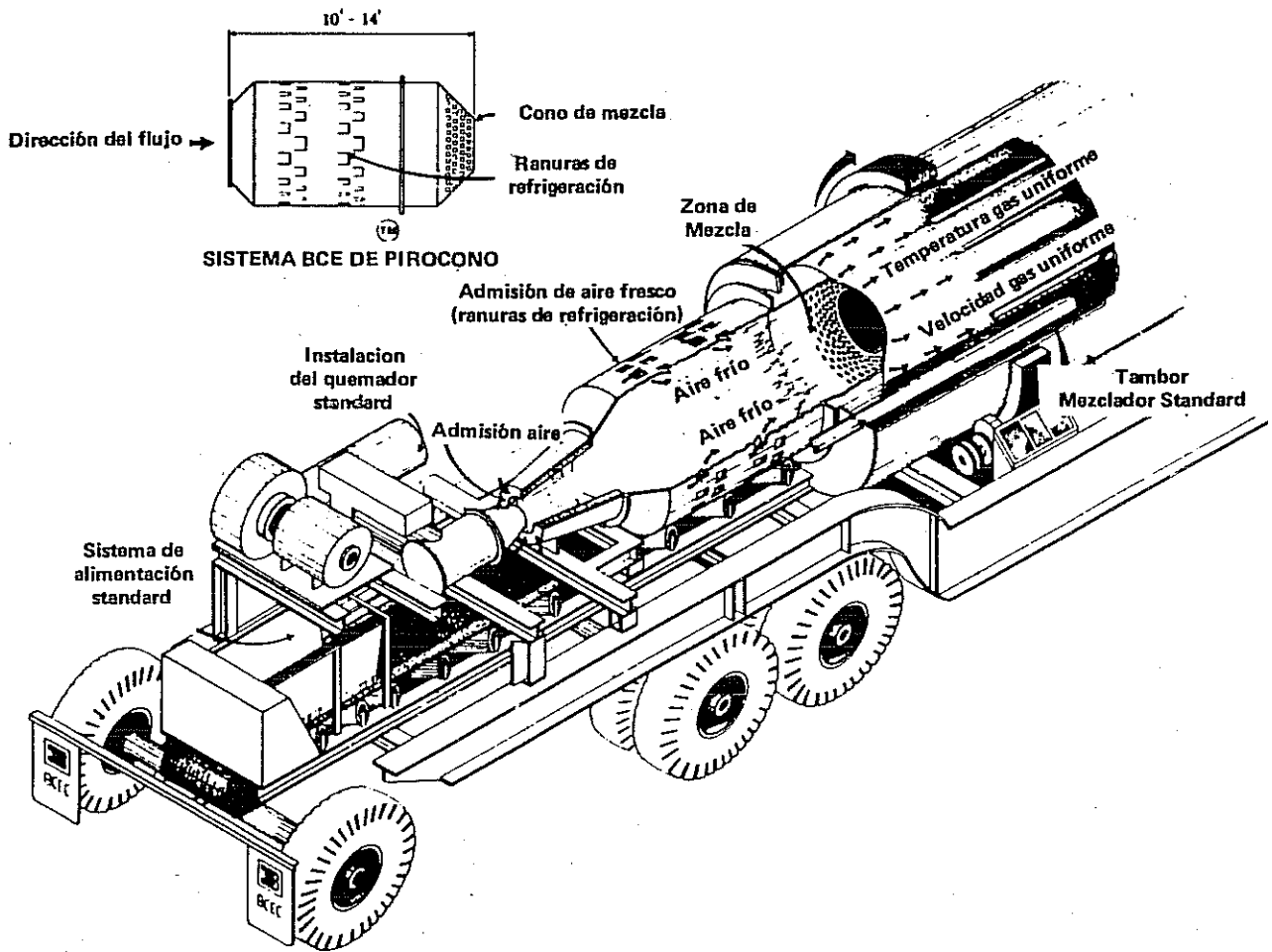


Figura 13. Tambor mezclador con convección a baja temperatura
(Cortesía de Boeing Construction Equipment Company)

COLOCACION

Distribución y compactación

Para distribuir y compactar mezclas recicladas en caliente se usan equipos y operaciones convencionales. Las temperaturas de distribución oscilan generalmente entre los 104 y 138°C (220 y 280°F).

521

TEMA M

CONSTRUCCIONES DIVERSAS CON ASFALTO

Nota para el Instructor

Hay ocasiones en las que los técnicos en asfalto se enfrentan a situaciones fuera de las operaciones de rutina, como construir estructuras con asfalto para deportes o pavimentar un terraplén de un embalse con mezcla asfáltica. El asfalto, como material cementante e impermeabilizante, es versátil y se lo puede usar en distintas maneras, algunas de las cuales se describen en esta sección.

El uso de aditivos en asfalto o en mezclas asfálticas para mejorar una o más propiedades requiere cierta discusión. Como para otros derivados del petróleo, como los combustibles y lubricantes, se usan mucho los aditivos, el Asphalt Institute acepta la idea de usarlos también para mejorar los asfaltos.

Hay evidencias basadas en observaciones en obra que indican los beneficios de usar aditivos en las etapas tempranas de la vida del pavimento. En general, se necesitan técnicas de manipuleo especiales. En consecuencia, el Asphalt Institute informa a los técnicos sobre este material, pero sin aconsejar su uso.

BIBLIOGRAFIA

1. "Asphalt Mulch Treatment", IS-161, The Asphalt Institute.
2. "Asphalt in Hydraulics", MS-12, The Asphalt Institute
3. "Asphalt Surface Treatment-Construction Techniques", ES-12. The Asphalt Institute
4. "Athletics and Recreation on Asphalt", IS-147, The Asphalt Institute.
5. "Full-Depth Asphalt Pavements for Bicycle Paths", CL-3, The Asphalt Institute.
6. "Full-Depth Asphalt Tennis Courts", CL-4, The Asphalt Institute.
7. "Asphalt Linings for Sanitary Landfills", CL-9, The Asphalt Institute
8. "Asphalt Linings for Waste Ponds", IS-136, The Asphalt Institute
9. "Using Asphalt to Control Water and Protect the Environment", IS-167, The Asphalt Institute.

TE

0

520 524

LECCION 1

PAVIMENTOS DE MACADAM ASFALTICO POR PENETRACION

Objetivo: Describir el diseño y la construcción de pavimentos de macadam por penetración.

INTRODUCCION	M 5
Descripción	M 5
Conveniencia de los pavimentos de macadam por penetración	M 5
MACADAM POR PENETRACION USANDO CEMENTO ASFALTICO	M 5
Tamaños del agregado	M 5
Tipos y clases de asfalto	M 6
Preparación de la superficie de la calzada	M 6
Distribución y compactación del agregado grueso	M 6
Aplicación del asfalto y del agregado intermedio	M 6
Tratamientos efectivos	M 7
MACADAM POR PENETRACION USANDO ASFALTO EMULSIONADO	M 7
Tamaños del agregado	M 7
Tipos y clases de asfalto	M 7
Preparación de la superficie de la calzada	M 7
Construcción	M 7
MANTENIMIENTO DEL MACADAM ASFALTICO	M 8

526

LECCION 1

PAVIMENTOS DE MACADAM ASFALTICO POR PENETRACION

INTRODUCCION

Descripción

El macadam es el tipo más antiguo de los pavimentos para carreteras actualmente en uso. Su nombre proviene de John Loudon McAdam, ingeniero escocés.

El macadam asfáltico por penetración consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en la que los fragmentos están ligados con asfalto. Se compacta la capa de piedra y sobre su superficie se aplica asfalto que penetra en los huecos, recubriendo la piedra y su mayor parte llena los vacíos. También liga entre sí los fragmentos de piedra.

Las capas de macadam tienen un espesor aproximado de una piedra, cercano a los 75 mm (3 pulg). Están cubiertas por una capa superficial, ya sea un tratamiento superficial o una superficie de mezcla en planta.

Conveniencia de los pavimentos de macadam por penetración

El macadam asfáltico por penetración se emplea como capa superficial para caminos de tránsito medio a pesado, pero para caminos de tránsito pesado a muy pesado ha sido sustituido por concreto asfáltico. Su alta estabilidad, que deriva de la trabazón mecánica de las partículas de agregado relativamente grandes y de la capa de asfalto de gran espesor, lo convierte en un tipo de construcción recomendable cuando se dispone, en condiciones económicamente aceptables, de agregado triturado del tamaño requerido.

Algunas limitaciones de su uso se derivan de las peculiaridades de este tipo de construcción. Para obtener los dos o más tamaños requeridos de agregados separados puede ser necesario desperdiciar parte del producto triturado. Los tamaños separados deben extenderse y penetrarse en capas separadas. El espesor de cada capa no debe ser apreciablemente mayor que el tamaño máximo del agregado empleado. Es difícil obtener, teniendo en cuenta el gran tamaño del agregado, un terminado suficientemente suave de cada capa.

MACADAM POR PENETRACION USANDO CEMENTO ASFALTICO

Tamaños del agregado

El agregado mineral debe estar formado por piedra limpia triturada o escoria, de tamaño y calidad uniformes. Su porcentaje de desgaste con el ensayo de abrasión Los Angeles no debe ser mayor que 40.

Las exigencias de tamaño y granulometría para el agregado grueso dependen del espesor deseado de la capa. La selección del agregado más pequeño o de traba para la segunda aplicación está gobernada por el tamaño del agregado mayor.

Tipos y clases de asfalto

El cemento asfáltico que se recomienda es: AC-10, AR-4000, pen. 85-100, para tiempos normales de verano y AC-5, AR-2000, pen. 120-150, para construcción en tiempo frío en climas del Norte de EE.UU.

Preparación de la superficie de la calzada

Es vital que el drenaje y la compactación de la subrasante sean adecuados, sin importar el tipo y espesor total de la estructura a colocarle encima. Tratar de compensar una subrasante debilitada, debido a un drenaje pobre, con un pavimento asfáltico de mayor espesor o con un espesor adicional de agregado es un medio costoso de elaborar buenas calzadas.

Una capa de aislación de 75 ó 100 mm (3 o 4 pulg) de arena natural o piedra seleccionadas sobre una subrasante de arcilla o arcilla-limo puede aislar a la estructura del pavimento de la subrasante, lo que reduce la contaminación de la base y minimiza la disminución de la capacidad de carga de la calzada. Esta aislación de agregado fino se la debe distribuir en capas sobre una subrasante bien consolidada y compactarla hasta obtener la sección transversal especificada.

Distribución y compactación del agregado grueso

Para construir una capa de macadam por penetración se pueden seguir los pasos siguientes:

1. Distribución y compactación del agregado grueso,
2. Aplicación inicial del asfalto,
3. Distribución y apisonado del agregado de traba y
4. Aplicación de la próxima capa o acabado.

La mejor forma de distribuir el agregado grueso es con una extendedora mecánica de piedra. Debe quedar una capa uniforme y suelta del espesor exigido. La distribución debe hacerse con cuidado para evitar la segregación y eliminar la mezcla con polvo u otro material extraño durante o después de la operación. Se debe hacer una inspección visual cuidadosa de la capa de piedra, sacando las piedras excesivamente chatas o alargadas. Se deben corregir las zonas con excesos de finos. La superficie de la capa debe ser también uniforme.

Luego de la distribución y de la inspección visual, se apisona la capa con un rodillo con peso mínimo de 525 N/mm (300 lb por pulg) del ancho de la rueda motriz. Se trabaja longitudinalmente comenzando en los bordes exteriores y avanzando hacia el centro. Cada pasada debe superponerse con la anterior en un ancho aproximado, igual a la mitad del ancho de las ruedas motrices. Se apisona hasta que la superficie esté cuidadosamente compactada y haya trabazón entre las piedras.

Aplicación del asfalto y del agregado intermedio

El asfalto se aplica inicialmente con un distribuidor a presión, el material debe estar a la temperatura de riego correcta y la velocidad de aplicación debe ser la especificada.

Las técnicas de riego son similares a las descriptas para tratamientos superficiales asfálticos. La única diferencia notable es que la cantidad a aplicar es mayor, lo que requiere un avance mucho más lento del distribuidor.

Inmediatamente después de la aplicación del asfalto se distribuye uniformemente el agregado menor con un distribuidor mecánico o autopropulsado. No debe haber demoras para cubrir con la piedra de traba la superficie regada. El equipo de apisonado debe ir inmediatamente detrás. Se usan rodillos de ruedas de acero o compactadores vibratorios. En donde sea necesario, se adiciona agregado en pequeñas cantidades, barriéndolo ligeramente sobre la superficie durante el apisonado. El apisonado continúa hasta que se llenan los vacíos superficiales entre partículas pero no se cubren completamente los fragmentos de agregado grueso. Se considera que esta operación está terminada

cuando el agregado está completamente embebido en asfalto y la superficie esté dura y lisa y no presente movimientos al pasar el rodillo.

Tratamientos efectivos

Si el macadam por penetración se usa como base, ya está listo para un riego de liga y para las capas superyacentes de concreto asfáltico que siguen al apisonado y al barrido. Si debe servir como capa superficial, se deben hacer aplicaciones adicionales de asfalto y agregado.

Estas aplicaciones adicionales son en realidad tratamientos superficiales. El rango de aplicación de asfalto y agregado, lo mismo que el tamaño de agregado se determinan como ya se vió en un capítulo anterior para el diseño de tratamientos superficiales simples y múltiples.

MACADAM POR PENETRACION USANDO ASFALTO EMULSIONADO

Tamaños del agregado

Debido a la baja viscosidad de los asfaltos emulsionados, se debe usar un agregado de granulometría uniforme que varíe entre 9,5 a 12,5 mm (3/8 a 1/2 pulg.) y un tamaño aproximadamente igual al espesor de la capa en su porción principal.

Tipos y clases de asfalto

Se puede usar asfalto emulsionado RS-1, RS-2, CRS-1 ó CRS-2.

Preparación de la superficie de la calzada

La preparación de la superficie de la calzada es la misma que para el macadam por penetración usando cemento asfáltico. Si la capa se va a construir sobre un suelo granular, subbase o base, se hace un riego de imprimación sobre la superficie antes de la primera aplicación del agregado grueso.

Construcción

Se distribuye el agregado uniformemente sobre la superficie preparada de la calzada con un distribuidor de agregado mecánico o automotriz propulsado en la cantidad requerida para obtener el espesor deseado. La inspección visual y el apisonado son los mismos ya descriptos. El asfalto se aplica en dos incrementos separados, aproximadamente iguales. La primera aplicación se hace cuando se humedece el agregado. La temperatura superficial del camino durante el riego debe ser de por los menos 10°C (50°F). En la segunda aplicación, el agregado se distribuye uniformemente

con un distribuidor mecánico o autopropulsado inmediatamente después del riego de asfalto.

Siguiendo a la distribución de agregado comienza el apisonado. Donde sea necesario se agrega agregado adicional en pequeñas cantidades, barriéndolo ligeramente sobre la superficie durante el apisonado. Esta operación continúa hasta que se llenan los vacíos superficiales entre los fragmentos de agregado grueso. Se apisona el pavimento hasta que el agregado esté firmemente embebido en el asfalto y la superficie esté dura y lisa y no presente movimientos bajo el rodillo.

MANTENIMIENTO DEL MACADAM ASFALTICO

El macadam por penetración para tránsito denso debe servir para muchos años con poco o ningún mantenimiento, gracias a las películas gruesas de asfalto. Antes se usaban tratamientos superficiales comunes para el sellado pero ahora resulta más conveniente sellar con una capa de mezcla elaborada en planta. El concreto asfáltico reemplaza a la pérdida por abrasión del tránsito con inconvenientes mínimos.

Cuando se necesita hacer bacheos, se debe sacar el material de las zonas rotas hasta las partes no destruídas, con cortes verticales. El agregado nuevo, similar al usado en la construcción original, debe apisonarse y acuñarse en el lugar con pisonos mecánicos o vibradores, si es posible. El asfalto se aplica con un dispositivo roceador desde el distribuidor o desde recipientes vertedores de mano. Luego se distribuye y compacta el agregado fino sobre la superficie regada.

Cuando por descuido en el mantenimiento es necesario hacer un bacheo extensivo, probablemente la base original y los tratamientos superficiales sean inadecuados para las cargas de tránsito presentes. En este caso, se debe considerar el refuerzo de la base, escarificando y agregando material suficiente con mezcla *in situ*, y un acabado con concreto asfáltico diseñados para el tránsito presente.

LECCION 2

EMPLEOS ESPECIALES DEL ASFALTO Y ADITIVOS

Objetivo: Describir algunas aplicaciones del asfalto en la construcción que pueden presentarse; destacar algunos de los aditivos más populares usados en el asfalto y en las mezclas asfálticas para obtener ciertas propiedades.

INTRODUCCION	M11
PAVIMENTACION DE TABLEROS DE PUENTES	M11
Generalidades	M11
Mezclas asfálticas	M11
Métodos constructivos	M11
ESTACIONAMIENTOS SOBRE AZOTÉAS	M12
Generalidades	M12
Construcción con un plano de movimiento libre	M12
Construcción con vinculación entre el piso de la azotea y el pavimento	M12
PISOS INDUSTRIALES	M13
Generalidades	M13
Pisos de mástic asfáltico	M13
Pisos de concreto asfáltico	M13
PISOS Y SUPERFICIES PARA DEPORTE Y RECREACION	M14
Generalidades	M14
Construcción	M14
ESTRUCTURAS HIDRAULICAS	M14
Generalidades	M14
Revestimientos con membrana de riego asfáltico	M14
Revestimientos de concreto asfáltico densamente graduado	M15
Revestimientos asfálticos de graduación abierta	M15
Revestimientos prefabricados de asfalto	M16
PROTECCIONES DE ASFALTO	M16
Generalidades	M16
Protección con riego asfáltico	M16
Protección de asfalto fijada	M16

USO DE ADITIVOS EN EL ASFALTO	M17
Caucho en asfalto	M17
Siliconas	M17
Cal hidratada	M18
Aditivos mejoradores de adherencia	M18

LECCION 2

EMPLEOS ESPECIALES DEL ASFALTO Y ADITIVOS

INTRODUCCION

En algunas fases de la construcción asfáltica es necesario considerar especialmente tanto los métodos constructivos como la mezcla asfáltica. Aunque el asfalto, como material ingenieril, no tiene nada de mágico es versátil e ideal para pavimentar en distintas formas y en otras aplicaciones.

En algunos casos, para obtener ciertas propiedades deseables del asfalto y de la mezcla asfáltica se le agregan aditivos.

PAVIMENTACION DE TABLEROS DE PUENTES

Generalidades

En los tableros de puentes resulta conveniente emplear superficies asfálticas ya que no las afectan las sales para deshielo y, correctamente construídas, impermeabilizan el piso del puente evitando que el agua y las sales lo dañen. También pueden ser altamente resistentes al deslizamiento, brindando el tipo más seguro de pavimento para puentes.

Mezclas asfálticas

Para capas de nivelación e intermedias se recomiendan mezclas de concreto asfáltico densamente graduadas. Para zonas que van a estar en contacto con productos químicos para deshielo del pavimento, se deben seleccionar agregados que no reaccionen con los mismos. Para reducir el peso del pavimento asfáltico sobre el puente conviene usar agregados livianos.

Métodos constructivos

La superficie a pavimentar, ya sea un tablero de hormigón de cemento portland o de acero corrugado, se debe limpiar de toda materia suelta y extraña con equipos mecánicos de cepillos y aire comprimido.

Se cubre la superficie con un riego de adherencia de 0,2 a 0,9 litros/m² (0,05 a 0,20 gal por yd²) de emulsión asfáltica SS-1h o CSS-1h diluída en una cantidad igual de agua. Los tableros de acero se pintan con una pintura asfáltica espesa. Deben pintarse también las superficies verticales en una altura mayor que el espesor del pavimento a colocar. Para aplicar el riego de adherencia se debe cepillar obteniéndose una película de asfalto continua.

Se aplica una capa de nivelación de concreto asfáltico densamente graduado y se compacta. Para tableros metálicos esta capa debe tener un espesor compactado de 13 mm (1/2 pulg) por encima de

la parte superior de la ondulación. En los tableros metálicos la capa de nivelación se apisona en dirección paralela a las ondulaciones.

Se aplica sobre la capa de nivelación un riego normal de adherencia y se coloca y compacta la capa intermedia. Se sigue con otro riego de adherencia y con la colocación y compactación de la capa de rodamiento.

Se apisonan todas las capas con rodillos neumáticos con una presión de contacto de 550 kPa (80 psi). En las zonas inaccesibles se usan compactadores vibratorios pequeños o manuales.

ESTACIONAMIENTOS SOBRE AZOTEAS

Generalidades

Los techos de muchas estructuras modernas sirven como zonas de estacionamiento. La pavimentación con concreto asfáltico se adapta particularmente a estas obras por razones similares a aquellas ya vistas para pavimento de tableros de puentes.

No se debe menospreciar la importancia de drenajes apropiados. Para asegurar que el agua desagote rápidamente, la superficie debe tener una pendiente de 2 por ciento o 20 mm/m (1/4 pulg por pie).

El pavimento asfáltico transfiere grandes cargas móviles y estáticas a la membrana de cubierta del techado. Un desplazamiento lateral de esta membrana hace que el pavimento se mueva. Cualquier desplazamiento diferencial debajo de un pavimento asfáltico bajo carga generará agotamiento o falla de la membrana subyacente. También, cualquier exceso de betún libre en la membrana lo absorbe la superficie de rodamiento, que se ablanda y posiblemente pueda exudar.

Hay dos tipos de pavimentación de azoteas: (a) losa y pavimento construido con una estructura en movimiento o libre, y (b) losa y pavimento vinculados.

Construcción con un plano de movimiento libre

La construcción con un plano de movimiento libre posibilita el desplazamiento relativo diferencial entre la losa de techo de la estructura y el pavimento.

Se distribuye sobre la cubierta de hormigón una capa de cal o arena fina que crea una discontinuidad asegurando la libertad de movimiento entre la cubierta de hormigón y el pavimento. Se coloca una cubierta convencional formada por cuatro o cinco capas de fieltro asfáltico ligero, sin la aplicación final de la capa de terminación y el revestimiento de agregado pétreo. En su lugar, sobre la capa superior de fieltro se aplica un riego de adherencia muy ligero de una emulsión asfáltica SS-1h o CSS-1h diluida. Sobre esto se coloca el pavimento de concreto asfáltico y se lo compacta. Se recomienda un espesor mínimo de 50 mm (2 pulg) de pavimento y se debe usar una mezcla densamente graduada con un tamaño máximo de agregado de 9,5 mm (3/8 pulg).

Construcción con vinculación entre el piso de la azotea y el pavimento

Para vincular el pavimento a la azotea, luego de sellar las grietas y juntas, se aplica una cubierta convencional de 4 o 5 capas de fieltros asfáltico. Se moja cada capa con asfalto, excepto la superficie de la superior. No se aplica asfalto dentro de los 0,4 m (15 pulg) de la junta de la losa de hormigón de cemento portland. Otro método consiste en usar una membrana asfáltica que contiene filler mineral y fibras para darle cuerpo y resistencia. Se la distribuye uniformemente para asegu-

rar un espesor uniforme. A veces se coloca un panel protector de 3 a 6 mm (1/8 a 1/4 pulg) de espesor. Se cubre la membrana o el panel con una o dos coladas de concreto asfáltico de contenido de asfalto superior al normal. El espesor total de la mezcla no debe exceder de 75 mm (3 pulg). El objetivo es obtener una mezcla impermeable que resista bien a la intemperie y que tenga una estabilidad Marshall mayor que 2224 N (500 lb).

Usualmente se emplean rodillos pequeños o del tipo empleado en aceras como consecuencia de la restricción del área de trabajo y de las cargas máximas admisibles para el edificio; el peso del rodillo no debe superar los 2,72 a 3,63 Mg (3 a 4 ton). En las zonas inaccesibles por los rodillos, se trabaja con compactadores vibratorios pequeños, con impulsión eléctrica o motores a nafta.

PISOS INDUSTRIALES

Generalidades

Los pavimentos asfálticos se adaptan muy bien para emplearlos en fábricas y depósitos. Normalmente se aplican, si están situados sobre el nivel de suelo, sobre cubiertas de hormigón de cemento portland. Si están a nivel de tierra o bajo nivel, se los debe diseñar y construir de forma similar a las carreteras o los estacionamientos. Son impermeables, altamente resistentes al desgaste y antipolvo. Mediante la selección de agregados minerales muy silíceos se puede conseguir que sean resistentes a los ácidos.

Pisos de mástico asfáltico

Originariamente el mástico asfáltico se preparaba empleando roca asfáltica triturada natural, pero actualmente se aplica esta denominación a mezclas de arena graduada, filler mineral y cemento asfáltico, completamente similares en esencia a las carpetas asfálticas de agregados finos. Los suelos de fábricas y depósitos soportan con frecuencia cargas unitarias muy pesadas aplicadas a través de ruedas metálicas estrechas y de pequeño diámetro. Cuando se encuentra esta situación, se modifica la mezcla normal para carpeta asfáltica usando un cemento asfáltico más duro (AC-20, AR-8000 y pen 60-70) y una proporción mas elevada de filler mineral muy fino. Se recomienda un espesor máximo de 40 mm (1 1/2 pulg). Cuando no es necesaria la resistencia a los ácidos, pero si una alta estabilidad y resistencia al impacto para autoelevadores, puede emplearse un producto patentado compuesto de una emulsión asfáltica especial, cemento portland, arena para revoque y piedra de 9,5 mm (3/8 pulg).

Pisos de concreto asfáltico

El concreto asfáltico densamente graduado como el usado en pavimentación de carreteras y aeropuertos se adapta muy bien para pavimentar pisos de depósitos y fábricas. El asfalto en si no es afectado por los ácidos, pero el agregado debe ser resistente a ellos y debe tenerse cuidado de diseñar y compactar la mezcla de tal forma que se obtengan alta densidad e impermeabilidad.

El espesor del concreto asfáltico para suelos de depósito debe ser el mismo que el diseñado para pavimentos de carreteras sometidos a cargas similares.

PISOS Y SUPERFICIES PARA DEPORTE Y RECREACION

Casi para cualquier tipo de superficies para deportes o recreación se puede usar asfalto en alguna manera desde pistas para correr hasta pistas para carreras de autos; o desde terrenos de juego hasta campos de fútbol. Hay una selección amplia de construcciones asfálticas para cualquier clima que son accesibles económicamente. Cuando el diseño y la construcción son apropiados, los costos de mantenimiento son muy bajos.

Construcción

La primera consideración, por supuesto, es el drenaje. Para construcciones con un paquete estructural totalmente de asfalto se necesita sólo drenaje superficial. En la mayoría de los casos se pueden usar mezclas extendidas en frío o en caliente. Para estas construcciones se puede seguir el mismo procedimiento que para caminos.

Se han desarrollado muchos productos patentados que gozan de gran aceptación para canchas de juego y campos de deporte. Algunos consisten en superficies sintéticas, como césped artificial sobre base asfáltica. Otras tienen asfalto emulsionado combinado con pigmentos y filler seleccionados que se aplican con extendedor de goma sobre superficies de concreto asfáltico. Estos materiales forman un sello adecuado, sin materiales sueltos remanentes. Presentan superficies suavemente elásticas que son fáciles de limpiar y mantener.

La construcción con asfalto en el espesor completo de la estructura contribuyó en gran medida al uso de superficies sintéticas y césped artificial en campos de juego. La base de asfalto brinda una superficie bien nivelada para unir la capa de caucho o de amortiguamiento que queda entre el asfalto y la alfombra de césped artificial.

Para obtener superficies bien niveladas, se colocan al menos dos capas de asfalto. La capa superior es generalmente de concreto asfáltico, arena asfalto o una carpeta asfáltica fina.

ESTRUCTURAS HIDRAULICAS

Generalidades

Se ha ganado mucha experiencia en la aplicación de asfalto en estructuras hidráulicas de cualquier clase. Los revestimientos de asfalto deben seleccionarse según la función a cumplir, como se muestra en la siguiente tabla:

Revestimiento de asfalto	Función	
	Impermeabilizante	Capa protectora
Membrana por riego asfáltico	x	
Mezcla asfalto en caliente densamente graduada	x	x
Mezcla asfalto en caliente de graduación abierta		x
Revestimientos prefabricados	x	x

Revestimientos con membrana de riego asfáltico

Un revestimiento con membrana de asfalto consiste en una capa continua de cemento asfáltico regado sobre la superficie a impermeabilizar. Generalmente está cubierta por una capa de suelo, grava u otro material que la mantiene en su lugar, la previene del deterioro del asfalto a la intempe-

rie (oxidación) y la protege de daños mecánicos. El asfalto se riega generalmente en dos aplicaciones con una cantidad total de 6,8 litros/m² (1 1/2 gal por yd²) aproximadamente, obteniéndose un espesor de la capa cercano a los 6 mm (1/4 pulg).

Se han desarrollado asfaltos especiales para este tipo de aplicaciones, como cementos asfálticos soplados con un elevado punto de ablandamiento entre 79-93°C (175-200°F) y posiblemente una ductilidad tan baja como 3,5 cm.

Primero se debe esterilizar la subrasante para que no crezcan hierbas o maleza. La superficie no debe tener terrones, protuberancias o piedras grandes. Se la apisona ligeramente antes de aplicar el asfalto. Las temperaturas de aplicación varían entre 177 y 218°C (350 a 425°F). El material de cubierta protectora se coloca cuidadosamente para no perforar la membrana, en un espesor de por lo menos 0,3 m (1 pie).

Las membranas de asfalto, aunque se desarrollaron para revestimientos de canales, se las ha usado en todas clases de reservorios (por ejemplo reservas de agua, lagunas de aguas cloacales, fosos de salmuera, remansos para peces y lagunas de granjas).

Revestimientos de concreto asfáltico densamente graduado

El concreto asfáltico densamente graduado se adapta muy bien a la construcción de revestimiento impermeables y resistentes a la erosión. El diseño de la mezcla es muy similar al de mezclas asfálticas densamente graduadas para caminos. La diferencia es que tienen un mayor contenido de filler mineral y de asfalto. La justificación de esto es elemental. Probablemente el material no alcance el grado de compactación, especialmente en los taludes, que reciben los pavimentos para caminos. Por lo tanto el asfalto y filler mineral extras ayudan a obtener una mezcla sin vacíos. El asfalto extra también incrementa la durabilidad de la mezcla y provee un espesor mayor de recubrimiento sobre las partículas de agregado. Para mezclas hidráulicas se prefiere generalmente cementos asfálticos más duros (AC-20, AR-8000 o pen. 60-70).

No es necesaria una estabilidad elevada. Es suficiente que la muestra se pueda colocar y compactar satisfactoriamente sobre los taludes a temperaturas altas.

Para que un revestimiento de concreto asfáltico densamente graduado sea impermeable, el porcentaje de vacíos en la mezcla debe ser de 4 ó menos y el espesor del revestimiento de por lo menos 50 mm (2 pulg).

Para colocar las mezclas asfálticas en los taludes generalmente se usan las máquinas distribuidoras convencionales que son elevadas o bajadas sobre las pendientes. Los distribuidores y otros equipos se atan a cables y son arrastrados abajo y arriba de las pendientes por cabrestantes montados sobre grúas o topadoras situados en el borde superior. Para algunos proyectos importantes se pueden modificar las máquinas terminadoras y los equipos de compactación para pavimentar sus pendientes. Esto se deja a la imaginación e ingenio del contratista porque en los Estados Unidos no se producen máquinas específicas para esta tarea.

Revestimientos asfálticos de graduación abierta

Las mezclas asfálticas abiertas o porosas tienen un contenido de arena muy reducido y prácticamente no tienen filler mineral. Consecuentemente, también se reduce el contenido de asfalto. El objeto de este tipo de revestimientos es proveer una cubierta resistente a la erosión para un revestimiento de suelo, como arcilla, que impermeabiliza la estructura. La porosidad de la mezcla permite que el agua pase libremente hacia y desde el manto de tierra sin peligro de presión hidrostática bajo la capa de asfalto. El espesor necesario de estos revestimientos depende sólo de su propia necesidad de permanecer intactos bajo las fuerzas erosivas del agua, como es la acción de las olas. El espesor típico es de 75 mm (3 pulg) aproximadamente.

Las mezclas porosas también se pueden usar como capa soporte para un revestimiento impermeable. Esta combinación agrega resistencia al revestimiento de la estructura y al mismo tiempo brinda una capa de drenaje para evitar que se genere presión hidrostática en el revestimiento que pueda romper o dañar la capa impermeable.

Revestimientos prefabricados de asfalto

Los paneles de asfalto prefabricados tienen un ancho de 0,9 a 1,2 m (3 ó 4 pies) y longitudes de 3,7 m (12 pies) o más. El espesor varía entre 3 y 13 mm (1/8 a 1/2 pulg.). El de uso más difundido es el de 13 mm (1/2 pulg.).

El núcleo generalmente es una mezcla densa de asfalto y filler. Las capas exteriores están hechas de algún material tenaz impregnado en asfalto, como fieltro de asbesto, fibra de vidrio o alguna fibra sintética o plástica. El panel se moldea bajo calor y presión.

La construcción de revestimientos con materiales prefabricados no necesita maquinaria pesada de pavimentación. Se pueden usar en donde las limitaciones de espacio impiden el uso de maquinaria. Se los usa para revestir de nuevo revestimientos de concreto agrietados y deteriorados (como un revestimiento por si mismo), o en donde se deban cumplir estrictamente con las especificaciones de espesor de un revestimiento.

PROTECCIONES DE ASFALTO

Generalidades

La estabilización de taludes y zonas llanas adyacentes a carreteras y otras instalaciones es un problema permanente para los ingenieros. La erosión del suelo, provocada por el viento y el agua, puede eliminarse estableciendo una cubierta donde crezcan plantas, que anclen el suelo.

Sin embargo se necesitan métodos artificiales para mantener la estabilidad del suelo hasta que se haya establecido la vegetación por si misma. Se usan procedimientos protectores que mantienen las semillas en su lugar hasta que hayan germinado y las plantas hayan arraigado.

Hay dos métodos aceptados de protecciones con asfalto. Uno es aplicarlo sólo, regando la zona sembrada para formar una película. El otro es emplear asfalto líquido como aglomerante de paja o heno.

Protección con riego asfáltico

Se puede aplicar un riego asfáltico sobre un área sembrada, fertilizada y humedecida. La fina película de asfalto mantiene la semilla en su lugar, absorbe y conserva el calor solar para favorecer la germinación y mantiene la humedad en la capa superior de suelo.

Se contrae y agrieta fácilmente cuando las plantas emergen del suelo permitiendo su crecimiento libre. Después la película de asfalto se disgrega.

Generalmente para este tipo de tratamiento se usa emulsión asfáltica (SS-1, SS-1h, CSS-1 o CSS-1h). Se aplican de 0,68 a 1,36 litros/m² (0,15 a 0,30 gal por yarda cuadrada), según el suelo y la pendiente del terreno a tratar. La aplicación debe ser cuidadosa porque un exceso de asfalto puede sellar el suelo, retardando el crecimiento pero muy poco asfalto no lo protege contra los efectos erosivos del viento y del agua.

Protección de asfalto fijada

Otro tipo de protección, mas familiar, es la fijación del material de protección con asfalto. Se usan dos métodos constructivos:

1. Extender paja o heno seguido con un riego asfáltico y
2. Extender paja o heno mezclados con asfalto.

Ambos métodos son efectivos si se los emplea adecuadamente y requieren poca mano de obra. Preferiblemente el área debe estar ya sembrada y fertilizada. El suelo necesita nitrógeno en abundancia para descomponer el material de protección.

El primer método consiste en extender de 0,33 a 0,56 kg/m² (3000 a 5000 lb por acre). Con un pulverizador luego se riega el asfalto sobre la cubierta a razón de 0,28 a 0,47 litros/m² (300 a 500 gal. por acre).

Para el segundo método, a diferencia del primero, el asfalto y el material de protección se riegan simultáneamente usando un soplador especial. Todo se reduce a una operación única, acelerando el trabajo.

El asfalto a usar debe ser una de las emulsiones nombradas para la protección con riego asfáltico.

USO DE ADITIVOS EN EL ASFALTO

Los aditivos son compuestos que junto con los normales, como asfalto, agregado y relleno mineral, componen la mezcla asfáltica para pavimentaciones. A veces se usan cuando se encuentran agregados o condiciones problemáticas. El uso de aditivos, sin embargo, no se debe considerar como un curatodo y no se lo debe emplear como un sustituto de una buena práctica de la construcción.

Caucho en asfalto

Se ha usado caucho natural, sintético o recuperado, en forma de polvo, de migas, de grano o látex, para cambiar ciertas propiedades del asfalto. Se ha demostrado que si se agrega caucho en cantidades tan pequeñas como 0,1 por ciento, aunque generalmente oscila entre 1 y 5 por ciento, las propiedades del asfalto cambian sustancialmente. Se incrementa la viscosidad y disminuye la susceptibilidad térmica y la tendencia a fluír.

El propósito de usar asfalto con caucho es obtener un material con mayor elasticidad, mayor adherencia y menor fragilidad a bajas temperaturas. Los numerosos ensayos de campaña, ahora en progreso, deben indicar si los costos de mantenimiento decrecientes resultantes van a compensar los gastos adicionales del uso de caucho.

Los diferentes cauchos afectan a los diferentes materiales asfálticos en formas distintas. Se necesitan estudios especiales y controles precisos como guía para el tratamiento de un asfalto particular con un determinado caucho para modificar sus características. También se necesitan técnicas especiales para el uso de asfalto con cauchos.

Siliconas

A los asfaltos se les agregan siliconas bajo ciertas condiciones para reducir o anular los efectos de la humedad u otros propósitos. Por ejemplo, se pueden agregar siliconas al asfalto caliente para evitar que se forme espuma durante el almacenamiento. En las mezclas asfálticas, se usan para evitar el endurecimiento del concreto asfáltico en almacenaje, para impedir el asentamiento y la segregación.

ción de la mezcla durante el transporte y la separación de la mezcla durante su colocación.

Las siliconas se agregan al asfalto en concentraciones de 1 a 6 ppm. Para obtener una distribución rápida, se las diluye con solventes. Se debe tener cuidado en mantener la cantidad de solvente agregado por debajo de aquella que afecta perjudicialmente las propiedades del asfalto. Las siliconas son materiales muy persistentes y su efecto puede permanecer en el tanque entre distintos llenados en una magnitud tal que algunos resultados de ensayo pueden no ser confiables.

Cal hidratada

La cal hidratada se adiciona a agregados de baja calidad para poder usarlos en mezclas asfálticas para caminos. Generalmente adicionando cerca de 1 por ciento de cal hidratada a estos agregados resultan mezclas para pavimentos asfálticos que pasan las exigencias límites para caminos.

A veces es difícil cubrir ciertos agregados con asfalto debido a que sus superficies son silíceas o ácidas. La cal hidratada, altamente alcalina, inicia una reacción química que cambia el carácter de la superficie del agregado y neutraliza cualquier componente ácido presente en el asfalto. También mejora las propiedades de recubrimiento y ligantes del asfalto para estos agregados.

La cal hidratada se adiciona al agregado en la mezcladora. Puede servir como filler en el material granular. Si se adiciona cal hidratada a la mezcla, se puede usar hasta un 1 por ciento de asfalto adicional sobre el contenido normal del mismo sin desintegración o exudación en el pavimento terminado. Esto produce un pavimento más denso, firme, con una superficie más durable.

Aditivos mejoradores de adherencia

Los aditivos de este tipo se usan para mejorar el cubrimiento y la adherencia. Ayudan a que se recubra el agregado, particularmente cuando está húmedo o mojado. También se los usa para incrementar la resistencia al lavado ó descubrimiento de la película de asfalto sometida a la acción del agua.

Hasta la fecha no se han publicado o dado a conocer resultados del comportamiento en campaña mostrando que los aditivos comerciales disponibles son económicamente convenientes o alargan la vida del pavimento asfáltico. Hay evidencias basadas en observaciones de campaña que indican que el uso de asfalto líquido tratado con aditivos pueden estos ser beneficiosos en algunos casos en las etapas tempranas de la vida de un pavimento bajo condiciones adversas. Todavía no se ha determinado cuanto tiempo duran estos beneficios o si el aditivo contribuye a proteger la vida en servicio del pavimento.

Los ensayos de laboratorio empíricos y los límites arbitrarios de las especificaciones no constituyen bases firmes ingenieriles en el uso de aditivos antidescubrimiento. En la mayoría de los casos no hay una relación directa entre estos ensayos y los límites de las especificaciones con el comportamiento en campaña. Hasta en donde existe cierto grado de relación, hay límites definidos para la aplicabilidad de los ensayos de "lavado" corrientemente usados en laboratorio.

Se terminó de imprimir
en el mes de marzo del año 1985
en Artes Gráficas Corín Luna
Morelos 670 - Buenos Aires

Inscripción I.S.B.N.
N° 950-630-001-1

||

