



Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico

Ing. Andrea Ulloa Calderón, LanammeUCR

Fecha de recepción: 29 de agosto del 2011

Fecha de aceptación: 29 de setiembre del 2011

Resumen

Dado las necesidades de profesionales, investigadores, constructores, inspectores y todos aquellos involucrados en el sector vial es que a continuación se plantea una guía de los ensayos básicos requeridos en el control de calidad en tres etapas generales durante la construcción de los pavimentos de mezcla asfáltica. Esto de acuerdo a especificaciones, disposiciones nacionales e internacionales, normas y procedimientos estándares utilizados en el LanammeUCR para el muestreo y evaluación del comportamiento de los diferentes materiales que componen un pavimento.

Abstract

According to the needs of professionals, researchers, builders, inspectors and all those involved in the road sector, there is then a guide to basic tests required in quality control in three general stages during construction of asphalt pavements. This article will refer to the specifications and relevant national and international, norms and standard procedures used in LanammeUCR for sampling and assessment the behavior of different materials that make an asphalt pavement.

1. Introducción

La búsqueda de un transporte eficiente de pasajeros, turismo y productos nos impulsa a llevar un mejor control de calidad sobre los materiales con los que se construyen los caminos por donde transitan millones de usuarios diariamente. Es por ello que en las obras viales durante todo su proceso constructivo es de suma importancia verificar las propiedades de cada uno de los materiales empleados y el desempeño de su combinación al conformar las distintas capas del pavimento.

La determinación de las propiedades y desempeño de los materiales se logra a partir de un conjunto de ensayos o pruebas establecidas precisamente para comprobar que dichos materiales funcionen correctamente de acuerdo a rangos, límites y/o valores estándares para condiciones similares o equivalentes. Por otro lado, la caracterización de dichos materiales se divide en dos campos de la ingeniería: infraestructura civil e infraestructura vial.

Infraestructura civil: caracterización y verificación de las propiedades físico-mecánica de agregados, suelos, rocas, cementos, concretos, acero, bloques, tuberías, etc.

Infraestructura vial: caracterización, verificación e investigación de materiales asfálticos, mezclas asfálticas, aditivos, emulsiones asfálticas, bases granulares, bases estabilizadas y cómo estos se comportan estructuralmente en un pavimento flexible y/o rígido.

Es por ello que se describen dentro de este documento los principales ensayos, cantidades mínimas de material a muestrear para la realización de los mismos y los requerimientos primordiales en su obtención para el cumplimiento de especificaciones y normas estipuladas en las disposiciones nacionales.

Estos ensayos son procedimientos estandarizados extraídos de las siguientes normas y manuales internacionales:

- ASTM: American Section of the International Association for Testing Materials
- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials
- Asphalt Institute, Estados Unidos.

2. Etapas de construcción de un pavimento asfáltico

Inicialmente es fundamental entender en qué consiste un pavimento, para luego comprender en qué etapas constructivas puede dividirse éste. Quizá una forma sencilla de conceptualizar la conformación de un pavimento flexible o asfáltico es mediante el siguiente esquema, donde un pavimento típicamente está conformado usualmente por cuatro capas para resistir las cargas provenientes del paso de los vehículos; la subrasante o capa más interna que es la base del pavimento, encima de esta capa de espesor infinito se coloca una capa de material granular llamada sub-base; superpuesta a esta capa, se dispone la base granular, que por lo general es de mejor calidad que la anterior, y finalmente se coloca la superficie de rueda, que es la capa de pavimento superficial observada, tal como se aprecia en la figura 2.1.

Ahora bien, las etapas constructivas del pavimento van acorde a la de conformación de las diferentes capas que lo constituyen. Por lo tanto, se diferencian tres etapas generales: etapa preliminar, etapa en proceso de construcción y pavimento terminado.

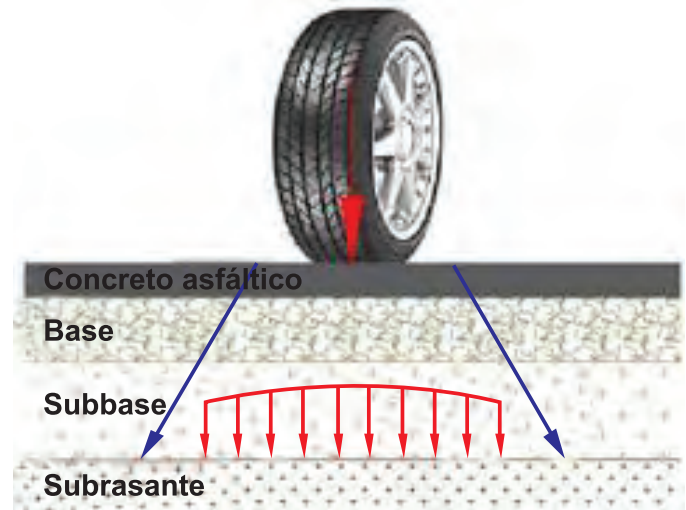


Figura 2.1. Diagrama de una estructura de pavimento y su respectiva distribución de esfuerzos.

2.1 Etapa preliminar

En todo proyecto de ingeniería se requiere conocer primeramente ciertas características del proyecto para obtener el diseño preliminar, en el caso de proyectos de carreteras, caminos de lastre, parqueos, patios de maniobras o cualquier otro tipo de áreas en las que se desee construir algún tipo de pavimento, será necesario inicialmente conocer las propiedades de los materiales que se utilizarán en la obra.

Preliminarmente en todo diseño de una estructura de pavimento se requiere el conocimiento básico de las características y resistencias o capacidades soportantes del suelo donde se llevará a cabo la construcción de este pavimento, de manera que pueda resistir los esfuerzos y deformaciones para un tránsito previsto, que de otro modo deberán analizarse opciones de mejoramiento o estabilización que lo hagan resistente. Por lo tanto se describen en este documento las pruebas más importantes que permiten obtener dicha información.

Granulometría por tamizado para suelos

Este ensayo consiste en la clasificación del terreno natural para compararlo con la clasificación de materiales de suelos, de acuerdo con las normas ASTM D 422 / AASHTO T 88.

Límites de Atterberg

Estos ensayos junto con la granulometría por tamizado se requieren para la clasificación del suelo, en este caso su consistencia con respecto al contenido de humedad. A estos contenidos de humedad en los puntos de transición de un

estado al otro son los denominados límites de Atterberg, de acuerdo con las normas ASTM D 4318/ AASTHO T 89:

-Límite líquido: el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y es posible moldearse.

-Límite plástico: el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se produce el rompimiento.

-Límite de retracción o contracción: estado en que el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad, según ASTM D 427/ AASTHO T 92.

-Relación de humedad y densidad (Próctor Estándar y/o Próctor Modificado)

Mediante esta prueba se puede determinar la compactación o densidad máxima de un suelo o agregado en relación con su contenido de humedad. Existen dos tipos de ensayo Próctor normalizados: Ensayo Próctor Estándar, de acuerdo con las normas ASTM D 698 / AASTHO T 99, método C y el Ensayo Próctor Modificado, de acuerdo con las normas ASTM D 1557 / AASTHO T 180, método D. La diferencia entre ambos ensayos radica en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Próctor Modificado.

-CBR en laboratorio

Determina la capacidad soportante del suelo (Relación de Soporte de California, por sus siglas en Ingles), de acuerdo con las normas ASTM D 1883 / AASTHO T 193, en el cual se mide la resistencia al

esfuerzo cortante de un suelo (subrasante), sub base y/o base granular de un pavimento, bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

-CBR in situ o ensayo de Anillo de carga

Realizado únicamente en la subrasante y sirve para correlacionarlo con el CBR en laboratorio, de acuerdo con la norma TB ENG 37 del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos.

La solicitud de estos ensayos se establecen de acuerdo con las especificaciones de cada proyecto (cartel de licitación), por lo general de los ensayos anteriormente descritos se requerirán al menos los establecidos en la Tabla 1 para el análisis de la subrasante.

Al diseñar un pavimento será necesario conocer las cargas del tránsito que soportará durante un periodo establecido de vida útil, y de esta forma determinar si los materiales escogidos y los espesores de diseño tendrán la capacidad estructural para soportar dichos esfuerzos. Sin embargo, el análisis y determinación de ese procedimiento queda fuera del alcance de este documento.

2.2 Etapa en proceso de construcción

Dentro de la etapa constructiva se tienen tres categorías de acuerdo al tipo de pavimento: camino de bajo tránsito (lastre como capa de rodamiento), tratamiento superficial y carpeta de mezcla asfáltica.

Una vez que se conocen las propiedades y características del suelo donde se pretende diseñar la estructura del pavimento, se procede a caracterizar y evaluar las propiedades de los

Tabla 1. Resumen de ensayos requeridos en una subrasante para un proyecto nuevo

Ensayo	Norma		Descripción	Cantidad mínima de material para el ensayo*	Especificación y/o Disposición
	ASTM	AASHTO			
Granulometría por tamizado	D 422 y D 1140	T 88	Clasificación del material por el tamaño de sus partículas	8 kg	No aplica
Límites de Atterberg	D 4318	T 89	Determinación de la consistencia para su clasificación	300 g para cada prueba	No aplica
Próctor Estándar	D 698	T 99, método C	Densidad en función del contenido de humedad	15 kg	No aplica
CBR	D 1883	T 193	Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas	100 kg	No aplica

* Con 100 kg de muestra mezclada y cuarteada o 4 sacos de muestra sin mezclar es posible realizar todos los ensayos.

materiales que conformaran la subbase y base, de modo que sean lo suficientemente resistentes a las deformaciones provocadas por las cargas del tránsito.

Para determinar dichas resistencias o características físico-mecánicas de la base granular y sub-base se deberán realizar los siguientes ensayos:

Granulometría por tamizado para agregados

Este método cubre la determinación de la distribución por tamaño de las partículas de agregado fino y grueso mediante tamizado. Esto con el fin de obtener la granulometría de diseño para las condiciones del proyecto. Para ello se toma una muestra de agregado seco de masa conocida y separada en una serie de tamices colocados progresivamente desde el más pequeño al más grande para determinar su distribución por tamaño, de acuerdo con las normas ASTM C 136 y C 117 / AASHTO T 27 y T 11.

Caracterización de agregados

Como parte de la etapa de diseño y dentro del control de calidad de los materiales en la etapa constructiva es de suma importancia la evaluación de las siguientes propiedades de los agregados utilizados tanto en la conformación de la subbase y base (granular o estabilizada) como en la producción de mezcla asfáltica:

- Abrasión de los ángeles, AASHTO T 96
- Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T 104
- Índice de durabilidad (agregado grueso) , AASHTO T 210
- Índice de durabilidad (agregado fino) , AASHTO T 210
- Caras fracturadas, ASTM D 5821
- Libre de materia orgánica, grumos o arcillas
- Índice de plasticidad, ASTM D 4318/ AASTHO T 89
- Límite líquido, ASTM D 4318/ AASTHO T 89

Relación de humedad y densidad (Próctor Estándar y/o Próctor Modificado)

Determina la compactación o densidad máxima de un suelo o agregado en relación con su contenido de humedad.

CBR en laboratorio

Determina la capacidad soportante del suelo.

Compactación in situ

Consiste en verificar la densidad y contenido de humedad en campo. Esto para obtener la mayor capacidad soportante posible, la mayor inalterabilidad volumétrica y la mayor resistencia a la deformación. Aun cuando la correlación densidad-resistencia se presenta con frecuencia, es necesario considerar la humedad y la porosidad in situ. De este modo se especifica una densidad en campo mayor o igual al 95% de la densidad máxima medida en el laboratorio, de acuerdo con la norma ASTM D 4429 / AASHTO T 310.

Cuando se trata de una base estabilizada in situ con cemento BE-25 o BE-35, en adición a los ensayos anteriormente mencionados se requerirán realizar también:

Caracterización del cemento

Consiste en seleccionar el tipo de cemento que mejor se ajuste al tipo de base o sub-base existente, de acuerdo con lo establecido en el CR-2010, Sección 701.01.

Granulometría de la base estabilizada

Verificar la compatibilidad de la base existente con el cemento a efectos de lograr con la estabilización una mejora en la resistencia mecánica de dicha base o sub-base y en especial su capacidad soportante frente a las cargas del tránsito, para lo cual se debe cumplir con lo establecido en el CR-2010, Sección 703.05.

Relación de humedad y densidad (Próctor Modificado) en la base estabilizada

Inicialmente se obtienen en laboratorio el contenido de humedad y la densidad óptimos, con el fin de contar con patrones de referencia para compararlo con la obtenido in situ. La verificación durante la construcción será mantener controlada la dosificación de agua para que no se baje la capacidad de soporte. Este ensayo se realiza de acuerdo con la norma D 1557 / AASTHO T 180, método D; y lo establecido en el CR-2010, Sección 302.04.

CBR de la mezcla base-cemento

Determinación de la capacidad de soporte de la mezcla base-cemento según la fórmula de trabajo, cuya especificación se establece en el CR-2010, Sección 302.01, para los mismos valores que se requieren para una base granular o sub-base.

Tabla 2. Resumen de ensayos requeridos en una sub-base y base como capas intermedias o superficiales

Ensayo		Norma		Descripción	Cantidad mínima de material para el ensayo*	Especificación y/o Disposición
		ASTM	AASHTO			
Granulometría por tamizado		C 136 y C 117	T 27 y T 11	Clasificación del material por el tamaño de sus partículas	60 kg	CR-2010. Secciones 301.03 y 703.5
Caracterización de los agregados	Abrasión de los Angeles	---	T 96	Determinación de resistencia y durabilidad de los agregados	150 kg	CR-2010. Sección: 703.5
	Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (5 ciclos)	---	T 104			
	Límite líquido	D 4318	T 89			
	Índice de durabilidad agregado grueso y agregado fino	---	T 210			
	Caras fracturadas	D 5821	---			
	Libre de materia orgánica, grumos o arcillas	---	---			
	Índice de plasticidad	D 4318	T 89			
Límites de Atterberg		D 4318	T 89	Determinación de su consistencia para su clasificación	1/2 kg para cada prueba	CR-2010. Sección: 301.03
Próctor Modificado		D 1557	T 180 método D	Densidad en función del contenido de humedad	3 kg	CR-2010. Sección: 301.03
CBR		D 1883	T 193	Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas	100 kg	CR-2010. Sección: 301.03
CBR in situ o compactación en campo		D 4429	T 310	Densidad in situ $\geq 95\%$ a la densidad máxima de laboratorio	---	CR-2010. Sección: 301.05
Resistencia a la compresión en bases estabilizadas		C 593	---	Comprobación de la resistencia prevista	3 cilindros	CR-2010. Sección: 302.03 Cartel de licitación del proyecto

Resistencia a la compresión en bases estabilizadas

Este ensayo se realiza para la comprobación del aumento de la resistencia en la mezcla en función del tiempo y dosificación de cemento y agua, que permiten correlacionarlo con parámetros teóricos de cálculo, de acuerdo con la norma ASTM C 593; establecido en el CR-2010, Sección 302.03.

En la Tabla 2 se describen las cantidades necesarias para la realización de los ensayos utilizados en la evaluación de los materiales para sub-bases y bases, lo cual se establece en el manual de especificaciones de construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica CR-2010.

Posterior a la colocación de la sub-base y base se deberá llevar un control de calidad de los materiales empleados en la producción de la mezcla asfáltica o tratamiento superficial, colocados sobre dichas bases. A continuación se describen los ensayos requeridos de los agregados, asfalto, mezcla asfáltica y emulsiones.

A. Mezcla asfáltica en caliente diseñada mediante el método Marshall

La mezcla asfáltica está compuesta por agregados y asfalto, y deberán evaluarse primeramente cada uno de sus componentes por separado y posteriormente la mezcla como un todo, acorde con su diseño y al desempeño esperado.

-Agregados empleados en mezcla asfáltica para capa de ruedo

Caracterización de los agregados gruesos (retenidos en la malla de 4,75 mm):

- Abrasión de los ángeles, AASHTO T 96
- Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T 104
- Índice de durabilidad (agregado grueso) , AASHTO T 210
- Caras fracturadas, ASTM D 5821

Caracterización de los agregados finos (pasando la malla de 4,75 mm):

- Índice de durabilidad (agregado fino) , AASHTO T 210
- Equivalente de arena, AASHTO T 176

Granulometría de agregados mezclados:

- Granulometría, AASHTO T 11 y T 27
- Grumos de arcilla y partículas friables, AASHTO T 112
- Libre de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla y sustancias deletéreas

Caracterización de los agregados livianos (escorias):

- Escoria triturada de acuerdo con AASTHO M 195

-Asfalto

Los ensayos utilizados para la caracterización de este material visco-elástico serán clasificados por viscosidad absoluta a 60°C o por penetración a 25°C, esto es establecido para cada proyecto por quien lo solicite; de acuerdo con la norma RTCA 75.01.22:04, Reglamento Técnico Centroamericano, (Productos de petróleo. Asfalto. Especificaciones).

Clasificados por viscosidad absoluta a 60°C

- Viscosidad absoluta a 60°C
- Viscosidad cinemática a 135°C
- Viscosidad cinemática a 125°C
- Viscosidad cinemática a 145°C
- Gravedad específica a 25°C
- Penetración a 25°C
- Punto de ignición en copa Cleveland
- Solubilidad en tricloroetileno
- Ensayos sobre el residuo de envejecimiento en película delgada TFOT
 - Viscosidad absoluta a 60°C
 - Ductilidad a 25°C

Clasificados por penetración a 25°C

- Penetración a 25°C
- Punto de encendido en copa abierta Cleveland

- Viscosidad cinemática a 125°C
- Viscosidad cinemática a 145°C
- Gravedad específica a 25°C
- Ductilidad a 25°C
- Solubilidad en tricloroetileno
- Ensayos sobre el residuo de envejecimiento en película delgada TFOT
- Penetración residual
- Ductilidad a 25°C

-Mezcla asfáltica (producción en planta)

El propósito de la verificación de la mezcla asfáltica en planta es para controlar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, de acuerdo al diseño de la mezcla y la fórmula de trabajo establecidos para cada proyecto.

- Graduación de los agregados, mediante la extracción del asfalto por ignición, de acuerdo con las normas AASHTO T 30 y T 308
- Contenido de asfalto por ignición, AASHTO T 308
- Contenido de agua, ASTM D 95
- Densidad de la mezcla
- Gravedad específica bruta ASTM D 2726 / AASHTO T 166
- Gravedad específica máxima teórica ASTM D 2041 / AASHTO T 209
- Porcentaje de vacíos de aire
- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)
- Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA)
- Estabilidad y Flujo Marshall, ASTM D 6927 / AASHTO T 245
- Resistencia retenida a la tensión diametral, ASTM D 4123 / AASHTO T 283
- Relación polvo-asfalto

-Mezcla asfáltica (colocación in situ)

La verificación de la mezcla asfáltica antes de ser colocada para su compactación es un control paralelo o equivalente de las mismas propiedades volumétricas del diseño y fórmula de trabajo determinadas para un proyecto dado evaluadas en planta. Por lo tanto se realizan los mismos ensayos mencionados anteriormente.

En la Tabla 3 se describen las cantidades necesarias para la realización de los ensayos utilizados en la evaluación de los materiales para capas de ruedo de mezcla asfáltica, lo cual se encuentra establecido en el manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica, CR-2010.

Tabla 3. Resumen de ensayos requeridos para la evaluación de mezcla asfáltica como capa de ruedo

Material	Ensayo		Norma		Descripción	Cantidad mínima de material para el ensayo	Especificación y/o Disposición
			ASTM	AASHTO			
Agregados	Granulometría por tamizado (Diseño de Mezcla asfáltica)		C 136 y C 117	T 27 y T 11	Cumplimiento de requisitos de calidad y la verificación de las características de resistencia y durabilidad	60 kg	CR-2010. Sección: 703.7
	Caracterización de los agregados (Diseño de mezcla asfáltica)	Abrasión de los Angeles		T 96		150 kg	CR-2010. Subsecciones 418.04.02.02, 418.04.02.03 y 418.04.02.04
		Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (5 ciclos)	---	T 104			
		Límite líquido	D 4318	T 89			
		Índice de durabilidad agregado grueso y agregado fino	---	T 210			
		Caras fracturadas	D 5821	---			
		Libre de materia orgánica, grumos o arcillas	---	---			
Índice de plasticidad	D 4318	T 89					
Asfalto	Clasificación por viscosidad a 60°C		Norma RTCA		Caracterización del asfalto para cumplimiento de calidad y propiedades de diseño de la mezcla asfáltica	2 galones	CR-2010. Sección 702.01
	Clasificación por penetración a 25°C		Norma RTCA			2 galones	
Mezcla asfáltica Diseño en planta o antes de colocación	Graduación de agregados		---	T 30 y T 308	Análisis granulométrico según el tipo de mezcla asfáltica	3 kg	CR-2010. Subsección 418.04.02.01
	Contenido de asfalto		---	T 308	Evaluación del contenido de asfalto, comparándolo con el de diseño y fórmula de trabajo	3 kg	CR-2010. Subsección 418.06.02
	Contenido de agua		D 95	---	Determinación del contenido de agua en la mezcla	1 kg	---
	Densidad de la mezcla		D 2726 y D 2041	T 245 y T 209	Determinación de las densidades para obtener los porcentajes de vacíos en la mezcla	10 kg	CR.2010 Sección: 402.17 y Subsección 418.06.02
	Porcentaje de vacíos de aire		---	---	Verificación del cumplimiento del porcentaje de vacíos de diseño	12 kg	CR-2010 Sección: 402.03 y Subsección 418.06.02
	Estabilidad y flujo		D 6977	T 245	Comprobación del contenido óptimo de asfalto para el porcentaje vacíos especificado, mediante el cumplimiento de la resistencia y deformación máxima permitida	10 kg	
	VMA		---	---	Cantidad de espacios llenos de aire y asfalto dentro de la mezcla	---	
	VFA		---	---	Espacios llenos efectivamente de finos en la mezcla	---	
	Relación polvo-asfalto		---	---	Verificación de contenido de finos en la mezcla	---	
	Resistencia retenida a la tensión diametral		D 4123	T 283	Evaluación de la adherencia agregado-asfalto	20 kg	

B. Tratamiento superficial

A diferencia de las mezclas asfálticas convencionales utilizadas como capa para superficie de ruedo diseñadas

para soportar elevadas cargas de tránsito, los tratamientos superficiales asfálticos son mezclas asfálticas destinadas habitualmente en carreteras de bajo volumen de tránsito sobre bases estabilizadas para proteger e impermeabilizar la

superficie de rodamiento, aunque también funcionan como una técnica de conservación, brindando un mejoramiento a la capa de rodadura existente, ver Figura 2.2.



a. Tratamiento superficial sobre base granular o estabilizada



b. Tratamiento superficial sobre carpeta asfáltica existente

Figura 2. Ejemplos de la aplicación de tratamientos superficiales asfálticos.

Los tratamientos superficiales comprenden desde una simple y ligera aplicación de cemento asfáltico o emulsión bituminosa, a múltiples aplicaciones de materiales asfálticos sobre las que se distribuyen agregados pétreos.

El objetivo principal de utilizar los tratamientos superficiales es sellar las superficies en las que se coloque y prolongar su vida útil a un bajo costo económico, por lo que estos se pueden clasificar de acuerdo a su aplicación y preparación.

Para tratamientos superficiales con aplicación de asfalto y distribución de agregados se dispone de tres tipos de tratamientos: simples, dobles o triples (TS-1, TS-2 y TS-3 respectivamente). Básicamente su diferencia entre cada uno radica en la cantidad de capas de agregado-emulsión que se coloquen.

La mezcla asfáltica preparada en laboratorio para el diseño de las dosificaciones de emulsión y tamaños máximos de agregado requieren los siguientes ensayos, de acuerdo con lo propuesto por el Asphalt Institute de Estados Unidos .

- Agregados empleados en tratamientos superficiales

Agregados gruesos (retenidos en la malla de 4,75 mm):

- Abrasión de los ángulos, AASHTO T 96
- Pérdida por disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (ácidos), AASHTO T 104
- Índice de durabilidad (agregado grueso) , AASHTO T 210
- Caras fracturadas, ASTM D 5821

Agregados finos (pasando la malla de 4,75 mm):

- Índice de durabilidad (agregado fino) , AASHTO T 210
- Equivalente de arena, AASHTO T 176

Granulometría de agregados mezclados:

- Granulometría (densa o abierta), AASHTO T 11 y T 27
- Grumos de arcilla y partículas friables, AASHTO T 112
- Libre de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla y sustancias deletéreas

- Emulsión

Las emulsiones son dispersiones de asfalto en agua, en los que actúan agentes tensoactivos especiales, llamados “emulsificantes” que mantienen estable la emulsión a temperaturas por debajo de los 100°C.

Las emulsiones pueden clasificarse de acuerdo con su aplicación o a la afinidad con el agregado con que se vayan a mezclar. Cuando se clasifiquen por su aplicación se tienen cuatro tipos de emulsiones: de rompimiento rápido, de rompimiento medio y de rompimiento lento y de rompimiento acelerado. En cuanto a su clasificación con respecto al agregado utilizado se tienen: catiónicas y aniónicas.

El tipo de agregado utilizado con más frecuencia en las carreteras de nuestro país son afines a las emulsiones catiónicas, por lo que en su mayoría este es el tipo de emulsiones empleadas en la producción de mezclas asfálticas con emulsiones. Ahora bien en la preparación de las mezclas asfálticas para tratamientos superficiales, se requiere una emulsión de rompimiento rápido, que permita una evaporación rápida del agua, dejando recubierto el agregado con el asfalto de dosificación.

Los ensayos necesarios para la caracterización de la emulsión de rompimiento rápido, de tipo catiónica, de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D 2397 / AASHTO M 208 y el RTCA 75.01.22:04, Reglamento Técnico Centroamericano, (Productos de petróleo. Asfalto. Especificaciones) son:

Pruebas sobre la emulsión

- Viscosidad, Saybolt Furol a 50°C
- Prueba de estabilidad en almacenamiento, 24h
- Desmulsibilidad, 35 mL, 0,8% sulfocianato de dioctil sodio

Habilidad de revestimiento y resistencia al agua

- Prueba de carga eléctrica de partículas
- Prueba de tamizado

Destilación

- Aceite destilado por volumen de emulsión
- Residuo

Pruebas sobre el Residuo de la destilación

- Penetración, 25°C, 100 g, 5 s
- Ductilidad, 25°C, 5 cm/min
- Solubilidad en tricloroetileno

- Mezcla asfáltica para tratamiento superficial

En el caso de la mezcla asfáltica preparada en el laboratorio para el diseño o incluso durante su colocación (tomando una muestra del proceso constructivo) se deberá verificar el contenido óptimo de emulsión asfáltica por capa para tratamientos superficiales múltiples (TS-2 y TS-3) para cada combinación específica de agregados, así como los siguientes parámetros:

- Graduación de los agregados, mediante la extracción del asfalto por ignición, de acuerdo con las normas AASHTO T 30 y T 308
- Contenido de asfalto por ignición, AASHTO T 308
- Contenido de agua, ASTM D 95
- Dosificación de emulsión-agregado

En la Tabla 4 se describen las cantidades necesarias para la realización de los ensayos utilizados en la evaluación de los materiales para tratamientos superficiales, lo cual se encuentra establecido en el manual de Especificaciones

Tabla 4. Resumen de ensayos requeridos para la evaluación de mezcla asfáltica de un tratamiento superficial asfáltico

Material	Ensayo	Norma		Descripción	Cantidad mínima de material para el ensayo	Especificación y/o Disposición	
		ASTM	AASHTO				
Agregados	Granulometría por tamizado (Diseño de Mezcla asfáltica)	C 136 y C 117	T 27 y T 11	Cumplimiento de requisitos de calidad y la verificación de las características de resistencia y durabilidad	60 kg	CR-2010. Sección: 703.9	
	Caracterización de los agregados (Diseño de mezcla asfáltica)	Abrasión de los Ángeles	---		T 96	150 kg	CR-2010. Sección: 703.9
		Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (5 ciclos)	---		T 104		
		Límite líquido	D 4318		T 89		
		Índice de durabilidad agregado grueso y agregado fino	---		T 210		
		Caras fracturadas	D 5821		---		
		Libre de materia orgánica, grumos o arcillas	---		---		
Índice de plasticidad	D 4318	T 89					
Emulsión	Caracterización de una emulsión catiónica de rompimiento rápido	Ensayos normados en el RTCA ASTM D 2397 AASHTO M 208		Caracterización de la emulsión para cumplimiento de calidad y propiedades de dosificación en la mezcla asfáltica	2 galones	CR-2010 Sección: 702.03	
Mezcla asfáltica en laboratorio para diseño de tratamiento superficial	Graduación de agregados	---	T 30 y T 308	Análisis granulométrico según el tipo de mezcla asfáltica	3 kg	CR-2010 Sección: 702.03	
	Contenido de asfalto	---	T 308	Evaluación del contenido de asfalto, comparándolo con el de diseño y fórmula de trabajo	3 kg	CR-2010 Secciones: 411.11 y 411.12	
	Contenido de agua	D 95	---	Determinación del contenido de agua en la mezcla	1 kg	---	
	Dosificación de emulsión-agregado	---	---	Obtener la mejor relación agregado-emulsión que permita un coeficiente de rozamiento más alto, compatible con la mayor adherencia y recubrimiento de los agregados	Una lona de (2 x 1) m in situ	---	

Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica, CR-2010 y el RTCA 75.01.22:04, Reglamento Técnico Centroamericano, (Productos de petróleo. Asfalto. Especificaciones).

2.3 Pavimento terminado

Un pavimento ya construido puede encontrarse recientemente o con mucho tiempo de haberse abierto al tránsito, sin embargo, en ambos casos son menos los ensayos de verificación de los materiales que pueden llevarse a cabo. Asimismo, es importante que quien los solicite considere que estos son ensayos destructivos, por lo que el muestreo del material requerirá la obtención de sondeos sobre el pavimento existente.

Para cada capa estructural del pavimento se podrán realizar los siguientes ensayos, mediante la extracción de material (sondeos a cielo abierto): bloques y núcleos de mezcla asfáltica, núcleos de base estabilizada, material en sacos de Subrasante, Base granular y Sub-base.

Subrasante

- Granulometría por tamizado para suelos, ASTM D 422 / AASHTO T 88
- Relación de humedad y densidad (Próctor Estándar y/o Próctor Modificado), ASTM D 698 / AASTHO T 99, método C y/o ASTM D 1557 / AASTHO T 180, método D
- CBR en laboratorio, ASTM D 1883 / AASHTO T 193
- Límites de Atterberg, ASTM D 4318/ AASTHO T 89

Base granular y/o Sub-base

- Granulometría por tamizado, ASTM C 136 y C 117 / AASHTO T 27 y T 11
- Relación de humedad y densidad (Próctor Estándar y/o Próctor Modificado), ASTM D 698 / AASTHO T 99, método C y/o ASTM D 1557 / AASTHO T 180, método D
- CBR en laboratorio, ASTM D 1883 / AASHTO T 193
- Límites de Atterberg, ASTM D 4318/ AASTHO T 89

Base estabilizada

- Resistencia a la compresión, ASTM C 593 (cuando se pueda extraer en condiciones adecuadas los núcleos) y se requieren al menos 2 núcleos por punto de análisis.

Calzada asfáltica

-Mezcla asfáltica en caliente

- Verificación de la graduación de los agregados, mediante la extracción del asfalto por ignición, de acuerdo con las normas AASHTO T 30 y T 308
- Contenido de asfalto por ignición, AASHTO T 308
- Contenido de agua, ASTM D 95
- Densidad en la mezcla
- Gravedad específica bruta ASTM D 2726 / AASHTO T 166
- Gravedad específica máxima teórica ASTM D 2041 / AASHTO T 209
- Porcentaje de vacíos de aire
- Estabilidad y Flujo Marshall, ASTM D 6927 / AASHTO T 245
- Espesores de carpeta

-Tratamiento superficial asfáltico

- Graduación de los agregados, mediante la extracción del asfalto por ignición, de acuerdo con las normas AASHTO T 30 y T 308
- Contenido de asfalto por ignición, AASHTO T 308
- Contenido de agua, ASTM D 95

En la Tabla 5 se describen el número mínimo de especímenes para la realización de los ensayos utilizados en la evaluación de los materiales para las diferentes capas del pavimento terminado, establecido en la mayoría de casos por la experiencia y métodos estadísticos en la obtención de resultados.

3. Duración promedio de los ensayos y muestreos

En la Tabla 6 se resumen los tiempos promedios para la realización de los ensayos más relevantes, de manera que ingenieros, investigadores, consultores y técnicos especializados en el campo vial conozcan en forma general la duración de las pruebas y puedan anticipar la disponibilidad de personal requerida para llevarlas a cabo.

4. Recomendaciones y cuidados

Como una consideración importante se debe proveer que la duración de los ensayos en especial cuando se trate de la verificación de las propiedades de la subrasante, bases granulares y sub-bases pueden tardar uno o dos días más de lo mencionado en este documento, dado que dependerá

Tabla 5. Resumen de ensayos requeridos para la evaluación del material en un pavimento terminado

Capa estructural AASHTO	Ensayo	Norma		Descripción	Cantidad mínima de especímenes	Duración del ensayo (días)
		ASTM	AASHTO			
Subrasante	Granulometría por tamizado	D 422 y D 1140	T 88	Clasificación del material por el tamaño de sus partículas	100 kg ó 3 sacos por punto	6
	Límites de Atterberg	D 4318	T 89	Determinación de su consistencia para su clasificación		2
	Próctor Estándar	D 698	T 99, método C	Densidad en función del contenido de humedad		De 5 a 15 (de acuerdo a la humedad del material)
	CBR	D 1883	T 193	Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones e humedad y densidad controladas		
Base granular y Sub-base	Granulometría por tamizado	C 136 y C 117	T 27 y T 11	Cumplimiento de requisitos de calidad y la verificación de las características de resistencia y durabilidad	150 kg ó 4 sacos por punto	22
	Límites de Atterberg	D 4318	T 89	Determinación de su consistencia para su clasificación	1.5 kg por punto	2
	Próctor Estándar	D 1557	T 189, método D	Densidad en función del contenido de humedad	3 kg por punto	De 5 a 15 (de acuerdo a la humedad del material)
	CBR	D 1883	T 193	Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas	100 kg por punto	
Carpeta de mezcla asfáltica	Graduación de agregados	---	T 30 y T 308	Análisis granulométrico según el tipo de mezcla asfáltica	1 bloque por punto	2
	Contenido de asfalto	---	T 308	Evaluación del contenido de asfalto, comparándolo con el de diseño y fórmula de trabajo		1
	Contenido de agua	D 95	---	Determinación del contenido de agua en la mezcla		1
	Densidad de la mezcla	D 2726 y D 2041	T 245 y T 209	Determinación de las densidades para obtener los porcentaje de vacíos en la mezcla	3 núcleos y un bloque por punto	De 1 a 3
	Porcentaje de vacíos de aire	---	---	Verificación del porcentaje de vacíos de campo	3 núcleos por punto	2
	Estabilidad y flujo	D 6927	T 245	Comprobación de la resistencia y deformación máxima	4 núcleos por punto	1

de la cantidad de puntos a evaluar en un proyecto, el clima y humedad del material.

Asimismo, se recomienda que se lleve el control de calidad desde el inicio de cada proyecto, procurando realizar cambios o mejoras de manera oportuna y con ello alcanzar la resistencia y durabilidad esperadas en la estructura del pavimento.

En el caso de la verificación de mezclas asfálticas, quedan por fuera la descripción de ensayos por otro tipo de métodos, que pudiesen brindar un apego de la realidad en cuanto al comportamiento del desempeño de estas mezclas, tal como es el caso de la metodología Superpave u otros similares en los que el análisis de las resistencias y deformaciones en el pavimento consideran las cargas del

tránsito de forma dinámica y no estática como lo es el caso del método Marshall.

Finalmente, para los tratamientos superficiales es preferible que se lleve un control de calidad en el proceso de diseño y constructivo, dado que las pruebas para su análisis posterior a su compactación podrían no ser significativamente representativas de los valores de laboratorio esperados.

Tabla 6. Resumen de tiempos requeridos para la realización de los ensayos y muestreos

Capa estructural AASHTO	Ensayo	Norma		Descripción	Cantidad mínima de material o especímenes	Duración del ensayo (días)
		ASTM	AASHTO			
Subrasante	Granulometría por tamizado	D 422 y D 1140	T 88	Clasificación del material por el tamaño de sus partículas	100 kg ó 3 sacos por punto	De 5 a 15 (de acuerdo a la humedad del material), más 1 día de muestreo por cada 2 sondeos
	Límites de Atterberg	D 4318	T 89	Determinación de su consistencia para su clasificación		
	Próctor Estándar	D 698	T 99, método C	Densidad en función del contenido de humedad		
	CBR	D 1883	T 193	Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas		
Base granular y Sub-base	Granulometría por tamizado	C 136 y C 117	T 27 y T 11	Cumplimiento de requisitos de calidad y la verificación de las características de resistencia y durabilidad	150 kg o 4 sacos	22 más 1 día de muestreo por cada 2 sondeos
	Límites de Atterberg	D 4318	T 89	Determinación de sus consistencia para su clasificación	1/2 kg para cada prueba	
	Próctor Modificado	D 1557	T 180, método D	Densidad en función del contenido de humedad	3 kg	
	CBR	D 1883	T 193	Resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas	100 kg	
Carpeta de mezcla asfáltica	Graduación de agregados	---	T 30 y T 308	Análisis granulométrico según el tipo de mezcla asfáltica	3 kg ó 1 bloque	2
	Contenido de asfalto	---	T 308	Evaluación del contenido de asfalto, comparándolo con el de diseño y fórmula de trabajo		1
	Contenido de agua	D 95	---	Determinación del contenido de agua en la mezcla		1
	Densidad de la mezcla	D 2726 y D 2041	T 245 y T 209	Determinación de las densidades para obtener los porcentajes de vacíos en la mezcla	10 kg ó 3 núcleos y un bloque	De 1 a 3
	Porcentajes de vacíos de aire	---	---	Verificación del porcentaje de vacíos de campo	3 núcleos	De 1 a 2
	Estabilidad y flujo	D 5927	T 245	Comprobación de la resistencia y deformación máxima	10 kg ó 4 núcleos	2
	Resistencia retenida a la tensión diametral	D 4123	T 283	Evaluación de la adherencia agregado-asfalto		8
Tratamiento superficial asfáltico	Graduación de agregados	---	T 30 y T 308	Análisis granulométrico según el tipo de mezcla asfáltica	1 bloque por punto	2
	Contenido de asfalto	---	T 308	Evaluación del contenido de asfalto, comparándolo con el de diseño y fórmula de trabajo		1
	Contenido de agua	D 95	---	Determinación del contenido de agua en la mezcla		1

5. Referencias

American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO. **Normas: M 208, T 11, T 27, T 30, T 88, T 89, T 92, T 96, T 99 Método C, T 104, T 166, T 180 Método D, T 193, T 209, T 210, T 245, T 283, T 308, T 310.** Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. ASTM. **Normas: C 117, C 136, C 593, D 95, D 422, D 427, D 698, D 1557, D 1883, D 2041, D 2397, D 2726, D 4123, D 4429, D 5821, D 6827.** Estados Unidos.

Antofagasta. **Tratamientos Superficiales Simple y Doble.** Universidad Católica del Norte Facultad de Arquitectura, Construcción e Ingeniería Civil, Dpto. de Construcción Civil. Chile, 2000.

Asphalt Institute. **A Basic Asphalt Emulsion Manual.** Manual Series No. 19 (MS-19), 1979.

Asphalt Institute. **Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica.** Manual Series No.22 (MS-22), 1992.

Betram, George E. **Ensayos de Suelos Fundamentales para la Construcción.** International Road Federation. Washington, D.C., 1963.

Morilla Abad, Ignacio. **Control de Calidad en Obras de Carreteras.** Asociación Técnica de Carreteras, SEOPAN y Asociación Española de la Carretera. España, 1989.