

**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, TRANSPORTE,  
Y DE VIVIENDA Y DESARROLLO URBANO**

**VICEMINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS**

**UNIDAD DE INVESTIGACION Y  
DESARROLLO VIAL**

**Diseño de Mezclas Asfálticas  
en caliente – Nuevas Tendencias**



**SAN SALVADOR, REPUBLICA DE EL SALVADOR.**

## **OBSERVACION**

**El contenido de este informe refleja las opiniones de los Autores, quienes son responsables de los hechos y la exactitud de los datos presentados. El contenido no refleja necesariamente las opiniones y políticas oficiales del Ministerio de Obras Públicas de El Salvador. Este informe no Constituye una norma, una especificación ni regulación.**

**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DE EL SALVADOR**  
**VICEMINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS**  
**UNIDAD DE INVESTIGACION Y DESARROLLO VIAL**

## **Diseño de mezclas asfálticas en caliente - Nuevas tendencias**

---

**Marcos Vinicio Vásquez R. Ing. Civil.** <sup>1</sup>  
**Jefe Depto. Materiales de Construcción**  
**Centro de Investigaciones Geotécnicas**

---

<sup>1</sup> Laboró para el Centro de Investigaciones Geotécnicas (CIG) del Ministerio de Obras Publicas hasta el mes de diciembre de 2001

---

### **Resumen.**

Se presenta a continuación un rápido bosquejo de los conceptos manejados por el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, (conocido por sus siglas en inglés como SHRP), sobre el diseño de mezclas asfálticas en caliente.

El artículo esta basado esencialmente en los documentos producidos por el programa SHRP, conocido como SUPERPAVE y en la experiencia sobre Materiales de Construcción de la Institución a la que pertenece el autor.

### **Introducción**

Las mezclas asfálticas en caliente son diseñadas actualmente por medio de procedimientos empíricos de laboratorio, por lo que se requieren años de experiencia, para correlacionar el comportamiento del pavimento con los trabajos de laboratorio.

El programa estratégico de Investigación de carreteras, conocido por sus siglas en inglés como **SHRP** (Strategic Highway Research Program), comenzó en 1987 a desarrollar un nuevo sistema para la especificación de materiales asfálticos. El producto final de estas investigaciones es conocido por su nombre corto en inglés como **SUPERPAVE** (Superior Performing Asphalt Pavements)

SUPERPAVE representa un sistema mejorado para especificar ligantes asfálticos, agregados minerales, diseño de mezclas y predicciones del comportamiento de la misma, el cual involucra procedimientos para la selección cuidadosa de materiales y el proporcionamiento volumétrico de los mismos, como primer paso en la producción de una mezcla que se comportará adecuadamente.

Los procedimientos de análisis "intermedio" y "completos", hacen uso de ensayos sofisticados en el diseño de la mezcla y los análisis resultantes son usados para predecir el comportamiento de la estructura del pavimento ante el clima y el tráfico.

El objetivo de este documento es el de describir conceptualmente el primer nivel del SUPERPAVE, ya que los niveles superiores están aun, siendo refinados.

## **El Sistema SUPERPAVE**

El Programa Estratégico de Investigación de carreteras (SHRP), desarrolló un nuevo sistema para la especificación de materiales asfálticos. En EEUU, la Federal Highway Administration (FHWA), ha tomado el liderazgo para la implementación del SHRP.

SHRP surge como un mecanismo para la solución de los problemas asociados al comportamiento de la mezcla asfáltica.

SUPERPAVE es un software de computadoras que asiste a los ingenieros en la selección de materiales y en el diseño de mezclas asfálticas. En otras palabras, es un sistema mejorado para la especificación de los materiales constituyentes de la mezcla, su análisis y diseño, y la predicción del comportamiento del pavimento. El sistema incluye:

- a) Especificaciones para ligantes asfálticos
- b) Sistema para el análisis y diseño de mezclas asfálticas en caliente
- c) Sistema computarizado (software) de soporte
- d) Equipos y procedimientos de ensayo
- e) Criterios de diseño.

Ya que el análisis y diseño de una mezcla asfáltica en el sistema SUPERPAVE es complejo, la extensión de su uso, según los investigadores del SHRP, depende del nivel de tráfico y de su función en el pavimento.

Lo más importante de las investigaciones de SHRP es el desarrollo de ensayos basados en el comportamiento de la mezcla y en modelos de predicción del comportamiento de la misma. Los resultados de estos ensayos pueden ser utilizados para realizar detalladas predicciones del comportamiento actual de un pavimento.

**SUPERPAVE** esta compuesto por tres niveles. La tabla 1 especifica los distintos niveles de análisis, que dependen de los distintos niveles de tráfico, considerados para el análisis y diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

### Primer nivel

El primer nivel en el sistema SUPERPAVE, requiere el Diseño Volumétrico de la Mezcla. Esto involucra:

- 1) Selección del tipo de asfalto
- 2) Selección de las propiedades de los agregados.
- 3) La fabricación de especímenes de ensayo
- 4) La selección del contenido de asfalto.

Esta actividad esta basada en la estimación del contenido de vacíos en la mezcla, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA), relación polvo/asfalto y su contenido efectivo de asfalto.

### Nivel Intermedio

Utiliza como punto de partida los análisis volumétricos del primer nivel, por lo cual este juega un papel clave en el sistema de análisis y diseño SUPERPAVE.

Los ensayos establecidos para el nivel intermedio son:

- a) Ensayos de corte (SUPERPAVE Shear Test, SST)
- b) Ensayos de Tensión indirecta (Indirect Tensile Test, IDT)

Una cantidad de ensayos utilizando equipos SST y IDT, son realizados para lograr una serie de predicciones del comportamiento de la mezcla.

### Nivel Avanzado

Comprende la totalidad de los pasos del análisis intermedio. En este nivel se realizan pruebas adicionales SST y IDT a una amplia variedad de temperaturas.

El análisis completo de una mezcla utiliza especímenes confinados SST, y ofrece un mayor y más confiable nivel de predicción del comportamiento de la misma.

Los niveles intermedio y avanzado del SUPERPAVE no se discuten en este documento, pues no es el objetivo de este. Algunos ensayos están actualmente siendo refinados.

En conclusión, puede decirse que los resultados de los ensayos de comportamiento realizados en las mezclas asfálticas usando SUPERPAVE, permiten al ingeniero estimar el comportamiento del pavimento durante la vida útil, en términos de ejes equivalentes de cargas (ESALs) o contrariamente, estimar la cantidad de ESALs, para alcanzar cierto nivel de resistencia al desplazamiento, a grietas por fatiga o a grietas por bajas temperaturas.

**Tabla 1. Niveles de análisis y diseño de mezclas asfálticas**

<b>Tráfico, ESALs</b>	<b>Nivel de diseño</b>	<b>Requerimientos de ensayo</b>
ESALs < 10 <sup>6</sup>	Primer nivel de análisis	Diseño volumétrico
10 <sup>6</sup> < ESALs < 10 <sup>7</sup>	Análisis intermedio	Diseño volumétrico y pruebas de predicción del comportamiento
ESALs > 10 <sup>7</sup>	Análisis completo	Diseño volumétrico y pruebas de predicción del comportamiento adicionales

## **Primer Nivel del SUPERPAVE**

### **Proporcionamiento Volumétrico.**

#### Ligantes asfálticos

Una parte del primer nivel de SUPERPAVE es la nueva especificación para los asfaltos que esta unido a un nuevo set de ensayos para su comparación. Las especificaciones para los asfaltos están establecidas en AASHTO MP1 "Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder". En el apéndice se presenta esta especificación.

SUPERPAVE, provee adicionalmente software de computadora para asistir al usuario en la selección de un determinado ligante, dependiendo de su lugar de uso en un proyecto determinado.

El grado de comportamiento de un asfalto **PG** (Performance Graded), esta compuesto por dos números, por ejemplo PG 64 -22. El primer número indica la máxima temperatura a la cual el ligante asfáltico mantiene sus propiedades durante su servicio en un pavimento. Igualmente, el segundo número indica la mínima temperatura a la cual el ligante asfáltico posee adecuadas propiedades físicas durante su servicio.

Consideraciones adiciones son proporcionadas para el tiempo de carga y magnitudes de carga.

Un aspecto clave para la evaluación de los asfaltos en el sistema SUPERPAVE, es que las propiedades físicas son medidas sobre asfaltos que han sido envejecidos en el laboratorio, para simular su condición de envejecimiento real, que sucede en un pavimento.

Para simular el endurecimiento por oxidación que ocurre durante el mezclado y la colocación de la mezcla, las propiedades físicas de los asfaltos son medidas sobre asfaltos que han sido envejecidos haciendo uso del horno de película delgada rodante. Este ensayo esta establecido en AASHTO T240 "Effect of Head and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin Film Oven Test)".

Un vaso de envejecimiento a presión, (pressure aging vessel, PAV), es usado para envejecer el asfalto en laboratorio y simular el envejecimiento severo que ocurre después que el asfalto ha estado en servicio por muchos años en el pavimento. Este ensayo está referido tentativamente en la especificación AASHTO PP1 "Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV).

Las propiedades físicas de los asfaltos son medidas en el sistema SUPERPAVE, usando cuatro equipos de ensayos:

- a) Dynamic Shear Rheometer
- b) Rotational Viscometer
- c) Bending Beam Rheometer
- d) Direct tensión tester.

La tabla 2, lista los equipos de ensayo y unas breve descripción de como cada ensayo es utilizado en la especificación del SUPERPAVE.

El tema central de las especificaciones SUPERPAVE, es la de simular por medio de ensayos de laboratorio los tres estados críticos del asfalto, durante la vida útil de los mismos:

- a) Primer estado. Representa al asfalto original, el cual se da durante el transporte, almacenaje y manejo del mismo.
- b) El segundo estado. Representa al asfalto durante la producción y colocación de la mezcla asfáltica. Este estado es simulado por el envejecimiento del asfalto en el horno de película delgada rodante (RTFO).
- c) El tercer estado. Ocurre cuando el asfalto ha permanecido por un largo período de tiempo como parte de un pavimento asfáltico. Este estado es simulado en el vaso de envejecimiento a presión (PAV).

**Tabla 2. Equipos de ensayo en el sistema SUPERPAVE.**

<b>Equipo</b>	<b>Propósito</b>
Rolling Thin Oven (RTFO)	Simula características de envejecimiento
Pressure Aging Vessel (PAV)	del asfalto ( Endurecimiento).
Dynamic Shear Rheometer (AASHTOTP5)	Mide las propiedades del asfalto a temperaturas altas e intermedias.
Rotational Viscometer (AASHTO TP48)	Mide las propiedades del asfalto a altas temperaturas
Bending Beam Rheometer (AASHTOP1)	Mide las propiedades del asfalto a bajas temperaturas
Direct tensión tester (AASHTO TP3)	

### Agregados minerales

SHRP no ha desarrollado nuevos procedimientos de ensayo, sino que ha refinado procedimientos existentes, con el fin de ajustarlos dentro del sistema SUPERPAVE.

Dos tipos de propiedades son especificadas en el sistema SUPERPAVE: Propiedades concensadas y Propiedades de origen.

Propiedades concensadas.

Son definidas como aquellas propiedades consideradas críticas, para alcanzar un alto comportamiento de la mezcla. Estas propiedades son:

- a) Angularidad del agregado grueso
- b) Angularidad del Agregado fino
- c) Partículas planas y alargadas
- d) Contenido de Arcilla.

Las propiedades concensadas deben reunir diferentes niveles de calidad, que dependen del nivel de tráfico (ESALs) y de la posición de la mezcla dentro del pavimento. En los Apéndices se presentan estos requerimientos

Con la angularidad del agregado se busca alcanzar mezclas con alto grado de fricción interna y por ende, alto grado de esfuerzo cortante para mejorar la resistencia a la deformación permanente de la mezcla. Los métodos de ensayo recomendado por SUPERPAVE son:

1. El Método No 621 del Departamento de Transporte del Estado de Pennsylvania "Determining the Percentage of Crushed Fragments in Gravel"
2. AASHTO TP 33, Test Method for Uncompacted Vois Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading) (Method A)

Con la limitación del porcentaje de piezas elongadas se asegura la no susceptibilidad del agregado a triturarse, durante el manejo de la mezcla y su posterior construcción y funcionamiento. Este método de ensayo está establecido en ASTM D4791 "Flat and Elongeted Particles in Coarse Aggregate".

Con la limitación de la cantidad de arcilla en los agregados, la adherencia de los agregados con el asfalto es mejorada. El método esta establecido en AASHTO T176, "Plastic Fine in Graded Aggregate and Soil by Use of the Sand Equivalent Test.

Propiedades de fuente.

Son aquellas propiedades que las agencias usan regularmente para calificar la calidad de las fuentes de agregados. SHRP no especifica valores críticos, pero recomienda que los organismos locales los especifiquen para un proyecto específico. Estas propiedades son:

- a) Dureza (AASHTO T 96 ó ASTM 131, 535)
- b) Sanidad (AASHTO T 104 ó ASTM C 88)
- c) Materiales Frágiles y Desmenuzables (AASHTO T112 o ASTM C142)

Adicionalmente a esto ensayos, son necesarios para efectos de diseño de la mezcla, los ensayos de Gravedad Específica de los agregados. Todos los ensayos son conocidos por la mayoría de ingenieros.

Características de graduación de los agregados.

Para especificar la graduación de los agregados, los investigadores del SHRP, refinaron las ya utilizadas por muchas agencias en los EEUU.

SUPERPAVE utiliza cartas de graduación elevadas al 0.45, con puntos de control y una zona restringida, para desarrollar una estructura en los agregados requerida en el diseño de Mezclas asfálticas.

Las cartas de control tienen su origen en la ecuación de Fuller, la cual representa condiciones de Máxima densidad y Mínimos vacíos en el agregado mineral (VMA). ( $p = 100 (d/D)^{0.5}$ ); Sin embargo, a pesar de que con el uso de la ecuación de Fuller se obtienen mezclas de fácil



compactación, estas tienden a ser muy frágiles y a poseer pocos vacíos en el agregado. Es por esta razón que se utilizan las curvas elevadas a 0.45. Una curva de máxima densidad (en el sistema SUPERPAVE), también puede ser dibujada por medio de una línea recta desde el tamaño máximo del agregado (el que pasa el 100% una determinada malla) hasta el origen.

Para el uso de una granulometría en SUPERPAVE, esta debe pasar entre los puntos de control y evitar pasar a través de la zona restringida. Esta zona es usada para evitar mezclas que tienen una alta proporción de arena fina respecto a la totalidad de arena y graduaciones que sigan la línea fina de 0.45, lo cual no proporciona adecuados vacíos en el agregado mineral (VMA).

SHRP recomienda que la granulometría de los agregados pase abajo de la zona restringida.

En muchos casos la zona restringida evitará el uso de arena natural en una mezcla y alentará el uso de arena limpia fabricada.

El diseño de la estructura de los agregados asegurará que este desarrolle un resistente "esqueleto de piedra" que mejorará la resistencia a la deformación permanente (rutting) y alcanzará suficientes vacíos para la durabilidad de la mezcla.

## Mezcla asfáltica

Dos características claves en el sistema SUPERPAVE son la compactación de laboratorio y los ensayos de comportamiento.

La compactación de laboratorio es realizada haciendo uso del Compactador Giratorio (SUPERPAVE Gyratory Compactor, SGC).

El uso y especificación del SGC está establecido en la designación AASHTO TP4-93, "Standard Method for Preparing and Determining the Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the SHRP Gyratory Compactor"

La especificación AASHTO MP2-95 "Standard Specification for SUPERPAVE Volumetric Mix Design", establece los requisitos de diseño para las mezclas asfálticas en caliente.

Parte de estas especificaciones se presentan en el apéndice.

El SGC utiliza moldes de 6 pulgadas de diámetro, una presión de confinamiento de 600 KPa y un ángulo de inclinación de 1.25 grados para la rotación que compactará los especímenes de laboratorio.

El número de rotaciones a la que está sujeto la mezcla para la fabricación del espécimen (briqueta) es establecida en la especificación.

El equipo de compactación posee incorporado un software que indica (durante el proceso de compactación), la altura del espécimen y el número de revoluciones corrientes, permitiendo de esta manera determinaciones de la densidad del espécimen durante su proceso de compactación.

Ya que el comportamiento de la mezcla, inmediatamente después de la construcción es influenciada por las propiedades de la mezcla, (resultantes del mezclado en caliente y compactación posterior), la muestra de mezcla asfáltica suelta es envejecida por un tiempo de cuatro horas, en un horno a 135 grados centígrados, previo a la compactación en el SGC. El proceso de envejecimiento es establecida en AASHTO PP2-94 "Standard Practice for Short and Long Term Aging of Hot Mix Asphalt (HMT)".

Las especímenes elaborados usando el SGC, son sujetos a los análisis volumétricos establecidos para el diseño de mezclas, la cual deberá reunir los requisitos establecidos en la especificación AASHTO MP2-95, SHRP recomienda el uso del diagrama volumétrico por todos conocido, para los análisis de la mezcla compactada.

Condiciones adicionales son establecidas en la especificación para la evaluación de la susceptibilidad de la mezcla a la humedad.

El fin de los análisis volumétricos es la estimación del contenido de asfalto de la mezcla objeto del diseño, lo cual involucra:.

- b) Estimación del contenido de vacíos de aire de la mezcla
- c) Estimación del contenido de vacíos en el agregado mineral (VMA)
- d) Estimación del contenido de vacíos llenos de asfalto (VFA)
- e) Relación polvo/asfalto
- d) Estimación del contenido efectivo de asfalto de la mezcla.

Estos análisis son del conocimiento de la mayoría de ingenieros salvadoreños, dedicados al diseño de mezclas asfálticas en caliente.

## **Bibliografía.**

1. BACKGROUND of SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN and ANALYSIS. National Asphalt Training Center. Demonstration Project 101. Publication No FHWA-SA-95-003
2. SUPERPAVE MIX DESIGN. SUPERPAVE Serie No 2 (SP-2) ASPHALT INSTITUTE. 1996
- 3 Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. SUPERPAVE Serie No 1 (SP-1) ASPHALT INSTITUTE. 1997
4. For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types. SUPERPAVE MIX DESIGN. Serie MS-2. Sixth Edition. ASPHALT INSTITUTE.

---

Regresar a [Página principal](#)

E-mail: [uidv.contacto@mop.gob.sv](mailto:uidv.contacto@mop.gob.sv)