

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

VICEMINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

**UNIDAD DE INVESTIGACION Y
DESARROLLO VIAL**



SUPERPAVE
Consideraciones Recientes

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

Superpave

Consideraciones recientes

Marcos Vinicio Vásquez R. Ing. Civil. ¹
Jefe Depto. Materiales de Construcción
Centro de Investigaciones Geotécnicas

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

Resumen.

Se presentan brevemente las consideraciones recientes del sistema SUPERPAVE concernientes a la importancia en la selección del tipo de ligante asfáltico, la adecuada granulometría de los agregados en la mezcla asfáltica y del contenido de aire de la misma, así como la importancia de la adecuada estimación de las cargas a las que está sujeto un pavimento.

Los temas anteriores son parte del llamado hasta ahora nivel 1 del SUPERPAVE (proporcionamiento volumétrico) y son considerados de mayor importancia para lograr mezclas asfálticas de optima calidad, así como para estudiar el comportamiento de las mismas ante los factores a los que se ve expuesto un pavimento.

Se incluye un resumen sobre un trabajo realizado por el CIG, en el cual se aplican algunos parámetros del SUPERPAVE.

El documento está basado en información obtenida por el expositor durante el curso impartido por la FHWA (Federal, Highway Administration), a través de su división NHI (National Highway Institute).

1.0 Introducción.

Desde hace más de cinco años, es conocido a nivel mundial los resultados del programa estratégico de investigación de carreteras de los EE.UU, conocido por su nombre corto en ingles como SHRP. SUPERPAVE es el resultado de la investigación SHRP, en el área de los pavimentos asfálticos.

Parte fundamental del desarrollo del programa SHRP es el hecho de que los procedimientos actualmente conocidos para el diseño de mezclas asfálticas son de tipo empírico; es decir, no es posible predecir, a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio actuales y conocidos corrientemente, el comportamiento de los pavimentos, si no esta presente el criterio obtenido por largos años de experiencia en el uso de tales materiales y métodos de ensayo.

Las investigaciones llevadas a cabo revelaron que era necesario:

- a) Cambios completos en especificaciones y en ensayos, respecto a los ligantes asfáltico debidos a su comportamiento visco-elástico;
- b) Casi ningún cambio en los ensayos sobre los agregados pétreos.
- c) Cambios esenciales en los procedimientos para el establecimiento del diseño de una mezcla asfáltica.

Los cambios establecidos están presentados en lo que conocemos como SUPERPAVE (**SU**perior **PER**forming Asphalt **PAVE**ments), que representa un sistema mejorado para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, el cual incluye especificaciones para ligantes asfálticos, equipos y procedimientos de ensayo, criterios de selección de materiales, análisis y diseño de mezclas asfálticas, software de apoyo y modelos de predicción, basados en el comportamiento de los pavimentos asfálticos.

Actualmente, SUPERPAVE establece tres niveles de utilización basados en la cantidad esperada de ejes equivalentes de carga durante el periodo de diseño del pavimento. El primer nivel, conocido como Proporcionamiento Volumétrico, es el que actualmente se desarrolla y esta siendo implementado en algunos estados de la Unión Americana. Los niveles superiores siguen actualmente siendo investigados.

Como se podrá comprender, la implementación completa del nuevo sistema en los EE.UU. y en el mundo entero, es y seguirá siendo por un periodo largo de tiempo un buen deseo, ya que se requieren grandes inversiones de dinero para la adquisición de los equipos de laboratorio y para el desarrollo consistente de los niveles superiores.

Muchas entidades en los EE.UU siguen usando los métodos tradicionales conocidos en el país (método Marshall, método Hveem, etc.) y procuran en el mejor de los casos cumplir con los términos del llamado hasta ahora primer nivel. En otras palabras, emplean el primer nivel para efectos de diseño de la mezcla y verifican que también los criterios conocidos por años de experiencia, sean cumplidos. Esos criterios siguen siendo utilizados para la verificación de la calidad de la mezcla en el campo, ya que los equipos que se utilizan son portátiles. Los equipos utilizados en el sistema SUPERPAVE al contrario, por ahora no son portátiles y son procedimientos de laboratorio orientados a la investigación, que en ocasiones resultan imprácticos para efectos de control en el campo, ya que es necesario invertir periodos de tiempo muy largos en el desarrollo de los ensayos.

En términos concretos se puede decir que los niveles superiores del SUPERPAVE, que están aún siendo investigados, toman como punto de partida los aspectos volumétricos de las mezclas. Aún no se visualiza la relación que puede existir entre los ensayos de laboratorio establecidos para estos niveles y el comportamiento de las mezclas en el campo. Mas aún, con el primer nivel, tampoco se puede correlacionar los trabajos de laboratorio con los procesos de control que se requiere en el campo, ya que estos deberán ser rápidos y apropiados.

El uso de los aspectos volumétricos en el diseño de las mezclas, la verificación del cumplimiento con los métodos ya conocidos (Método Marshall y Hveem), el uso de prácticas constructivas adecuadas y racionales estimaciones del nivel de tráfico, es por hoy (según se aprecia) las verdaderas armas con que cuentan los ingenieros, para el desarrollo de mejores diseños de mezclas asfálticas en caliente.

Lo anterior es la base precisamente del origen del presente artículo, pues se considera que estos aspectos pueden ser también implementados en nuestro país con las limitaciones del caso, utilizando racionalmente los medios que se conocen actualmente (métodos de ensayo, métodos de diseño y equipos de laboratorio), con el fin de lograr carpetas asfálticas de comportamiento satisfactorio en un pavimento asfáltico.

En las líneas que siguen, se tratan aspectos considerados claves dentro del llamado primer nivel y se presenta un trabajo de laboratorio en el cual se han aplicado algunos de los criterios del SUPERPAVE, utilizando para ello los ensayos de estabilidad marshall.

2.0 Comportamiento de las mezclas asfálticas.

Una mezcla asfáltica, cuando esta incorporada como carpeta en un pavimento asfáltico, esta sujeta a múltiples acciones que terminan con la vida útil de la misma. Estas acciones son entre otras el tráfico y el clima. Los daños producidos en las carpetas asfálticas y que han sido identificados en el sistema SUPERPAVE, son conocidos como deformaciones permanentes (rutting), grietas por fatiga y grietas por temperatura. Todos estos daños están asociados en mayor escala a las características finales de la mezcla asfáltica cuando forma parte del pavimento y a las características constitutivas de la misma.

Deformación permanente.

El elevado número de aplicaciones de cargas (repetición de cargas) o la poca resistencia de la mezcla a resistir los esfuerzos cortantes inducidos al pavimento, puede dar origen a deformaciones permanentes (rutting). Características granulométricas apropiadas y asfaltos que actúen adecuadamente ante las temperaturas a las que esta expuesto un pavimento, son recomendados en SUPERPAVE, para controlar los problemas de deformación permanente.

Grietas por fatiga.

Las grietas por fatiga son causadas en un pavimento por factores que ocurren simultáneamente, se pueden destacar: cargas pesadas repetidas, pobres características de drenaje del pavimento, alta deflexión del pavimento y mezclas asfálticas muy rígidas. Adicionalmente las grietas por fatigas son influenciadas por deficiencias en los métodos de diseño del pavimento y métodos inadecuados de construcción.

Grietas por temperatura.

Este fenómeno es observado regularmente en zonas donde el clima genera temperaturas muy bajas. Las grietas por temperaturas pueden deberse a la utilización de ligantes asfálticos muy duros, los cuales son propensos a la contracción de la carpeta asfáltica, en tiempos fríos.

Asimismo muchos investigadores reconocen que los ligantes asfálticos oxidados, ya sea porque son mas propenso a este fenómeno, o **por la existencia de demasiados vacíos en la carpeta asfáltica colocada**, son los mas propensos a agrietarse en tiempos fríos.

Para prevenir los daños en las carpetas asfálticas, asociados al comportamiento de los pavimentos, SUPERPAVE recomienda la adecuada estimación de las cargas en el periodo de diseño, la selección cuidadosa de cada uno de los componentes de la mezcla, la utilización de criterios apropiados de

selección y apropiadas técnicas de construcción. Para lo anterior la especificación ASSHTO MP2-95, Standard Specification for SUPERPAVE Volumetric Mix Design, establece las características mínimas de los componentes de una mezcla (ligantes asfáltico y agregados) y criterios de selección de la misma; estos aspectos son parte del nivel 1 de superpave y constituyen el punto de partida para los estudio superiores del comportamiento de la mezcla, cuando forma parte de una carpeta asfáltica.

3.0 Estimación adecuada de cargas (ESALs).

Para esta actividad es importante destacar que la estimación del tráfico para propósitos de diseño de un pavimento, es el que se recomienda utilizar también para efectos de diseño de la mezcla asfáltica, para un proyecto específico.

La información necesaria para la estimación del tráfico futuro debe ser recolectada de fuentes de todo crédito, o en su defecto, deberá ser investigada por la empresa responsable del diseño del pavimento. Una estimación deficiente del nivel de tráfico, conlleva tácitamente a deficientes diseños de los pavimentos y a la disminución del período de vida útil de los mismos.

El daño que se produce en un pavimento por la aplicación de un eje de carga de 18 000 libras en forma repetida, llamado por su nombre en ingles ESALs (equivalent number of 18- kip single axel loads), constituye por el momento la herramienta básica para la estimación de las cargas a la que estará expuesto un pavimento. El nivel de tráfico estimado para propósitos de diseño, es convertido a un número equivalente de ejes de carga de 18,000 libras, los cuales constituyen las cargas a tomar en consideración para el diseño de los pavimentos.

Como puede notarse, la estimación de los daños por la aplicación repetida de cargas es un trabajo sumamente delicado; habría que invertir una cantidad de recursos no cuantificables que volverían menos factibles los proyectos.

SUPERPAVE recomienda la utilización de los resultados del **AASHO Road test**, para la estimación apropiada de las cargas a las que estará expuesto un pavimento debidas a los niveles de trafico esperados, en el periodo de diseño del mismo. Se recomienda al lector, para profundizar estos conceptos, la AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993, publicada por la American Association of State and Transportation Officials.

4.0 Selección adecuada de los ligantes asfálticos.

4.1 Comportamiento de los ligantes asfálticos. Composición de los ligantes asfáltico.

Los asfaltos usados en los pavimentos bituminosos están formados químicamente por complejas combinaciones de hidrocarburos; además de hidrógeno y carbono, también contienen pequeñas cantidades de azufre, oxígeno, nitrógeno, así como pequeñas trazas de metales tales como vanadio, níquel, hierro, magnesio y calcio. Por el hecho de tener entre el 90% al 95% de hidrocarburos, los asfaltos son propensos al envejecimiento por oxidación; lo anterior junto a otras formas de oxidación, permite cambios en la estructura química de los asfaltos.

La química del asfalto es en general muy compleja; para propósito de estudio, los componentes han sido derivados a través de técnicas de separación química. Los métodos más utilizados y recomendados en los libros respecto al tema son el Método Cromatográfico de CORBETT (ASTM

D 4124) y el Método de Precipitación de ROSTLER; la discusión de tales métodos está fuera del alcance de este artículo.

Las moléculas del asfalto se encuentran sostenidas por débiles estructuras moleculares, las cuales pueden ser destruidas por calentamiento o por esfuerzos cortantes; esto proporciona al asfalto, sus características visco-elásticas. **No han sido identificadas hasta el momento, correlaciones entre los varios componentes químicos y el comportamiento del asfalto.**

Comportamiento viscoso del asfalto.

Por las características visco-elásticas del asfalto, el mismo presenta una variedad de comportamiento, tanto ante cargas como a temperatura. A alta temperatura es fluido o tiene un comportamiento plástico, mientras que a baja temperatura, el asfalto tiende a ser rígido y elástico. A temperaturas intermedias actúa como una combinación de los dos fenómenos.

El efecto del tiempo de cargas y la temperatura del asfalto es relativo. El comportamiento a altas temperaturas sobre tiempos cortos de carga, es equivalente a que ocurra a bajas temperaturas y a larga duración de cargas. (Una carga aplicada suavemente, o sea una carga aplicada en un periodo largo de tiempo, produce la misma deformación viscosa en el asfalto a bajas temperaturas, tanto como una carga aplicada más rápidamente a alta temperatura).

Comportamiento del asfalto a alta temperatura.

En condiciones calientes o bajo cargas aplicadas suavemente (movimiento despacio de vehículos pesados), el asfalto actúa como un líquido viscoso. Bajo estas circunstancias, el agregado es la parte del la mezcla asfáltica que soporta la carga, mucho más que el asfalto.

Los asfaltos líquidos exhiben comportamiento plástico porque una vez empiezan a fluir, no retornan a su posición original. Esta es la razón del por que en tiempos calientes algunas mezclas asfálticas menos estables, fluyan bajo cargas de llantas (cargas repetidas) y producen una acumulación de deformación al paso de vehículos (rutting).

El rutting en pavimentos asfálticos es también influenciado por las características del agregado.

Comportamiento del asfalto a bajas temperaturas.

En época fría o bajo cargas aplicadas rápidamente, el asfalto actúa como un sólido elástico. Un sólido elástico posee un esfuerzo último el cual, cuando es cargado mas allá de su nivel, puede fracturarse.

Las grietas por temperatura pueden ocurrir en los pavimentos asfálticos en tiempos fríos cuando una carga térmica es aplicada por los esfuerzos de tensión internos que pueden suceder en el pavimento cuando se contrae, mientras esta siendo restringida por las capas inferiores (base y subbase).

Comportamiento del asfalto a temperaturas intermedias.

La mayoría de los pavimentos son construidos en lugares en donde experimentan temperaturas moderadas e intermedias la mayor parte del tiempo, por lo que experimentan temperaturas bajas o altas en períodos relativamente cortos de tiempo cada año. A estas temperaturas, los ligantes asfálticos presentan características de un líquido viscoso y de un sólido elástico. Debido a este comportamiento el asfalto, para el ingeniero civil, es un material extremadamente complicado para entenderlo y explicarlo.

4.2 Especificaciones sobre los ligantes asfálticos.

Especificaciones corrientes.

Debido a la complejidad química de los asfaltos, la mayoría de las especificaciones existentes han sido desarrolladas alrededor de las características físicas.

Las propiedades físicas son determinadas a temperaturas standards de ensayo y los resultados son utilizados para determinar si el material reúne los requisitos de la especificación. Muchos de los ensayos conocidos son empíricos, lo que significa que la experiencia en el comportamiento del asfalto es necesaria, antes que los resultados de los ensayos produzcan información útil.

En El Salvador la especificación conocida y utilizada sobre los ligantes asfálticos es la ASTM D 946 (graduación por penetración). Tal especificación esta basada en el ensayo de penetración del asfalto (ASTM D 5), la cual utiliza una temperatura de 25 grados centígrados como temperatura de ensayo.

La penetración en el asfalto es una medida de la rigidez del mismo, sin embargo no existe una correlación entre el resultado del ensayo y su comportamiento en el campo; esta deberá ser ganada por la experiencia del ingeniero en la utilización del material.

Asimismo, también es conocida la especificación ASTM D 3381 (graduación por viscosidad). Tal especificación esta basada en el ensayo de viscosidad absoluta del asfalto (ASTM D 2171), la cual utiliza una temperatura de 60 grados centígrados como temperatura de ensayo. En el país esta especificación no es aplicada ya que la mayoría de empresas locales no cuentan con el equipo necesario.

Las investigaciones llevadas a cabo por SHRP, revelaron que las especificaciones corrientes no dan información sobre el comportamiento del asfalto en los rangos de temperaturas a los cuales esta expuesto un pavimento.

Aún cuando la viscosidad es una medida fundamental del flujo, el ensayo sólo proporciona información acerca del comportamiento viscoso a altas temperaturas (60 ° C y 135 °C); un asfalto AC 10 es menos viscoso a la temperatura de ensayo que un AC 20, y este menos viscoso que un AC 30. La prueba de penetración describe sólo la consistencia del asfalto a la temperatura de ensayo (25°C); un asfalto 60-70 es más consistente (duro) a la temperatura de ensayo que uno 85-100.

Respuestas del comportamiento del asfalto a bajas temperaturas no pueden ser realmente determinadas a partir de estos ensayos. **Asfaltos de diferente procedencia pueden presentar el mismo grado de acuerdo a la especificación, pero diferente comportamiento ante la temperatura.**

Especificaciones SUPERPAVE.

La única característica clave en las especificaciones SUPERPAVE es que el criterio de la especificación permanece constante, pero las temperaturas a la cual el criterio es alcanzado cambia para los diferentes grados de asfalto.

Según los investigadores del programa SHRP, las propiedades medidas por medio de los ensayos para ligantes asfálticos en SUPERPAVE, pueden ser relacionados directamente con su comportamiento en el campo por principios de ingeniería. Los ensayos son conducidos también a temperaturas que son encontradas en los pavimentos asfálticos en servicio, para proveer mejor comportamiento del mismo en regiones climáticas específicas. Básicamente la estructura del pavimento, el diseño de la mezcla y las propiedades de la carpeta tal como fue construida junto con las propiedades del ligantes, determinan el comportamiento del pavimento durante su vida útil.

Para los ensayos, el asfalto es sujeto a condiciones que simulan las tres condiciones críticas durante la vida de los ligantes asfálticos. SUPERPAVE intenta mejorar el comportamiento de los asfaltos limitando el potencial del ligante de contribuir a producir en los pavimentos deformaciones permanentes, grietas por fatiga y grietas por bajas temperaturas.

Selección de los ligantes.

La selección adecuada de los ligantes asfálticos debe estar según, las especificaciones SUPERPAVE, en función de el clima y de la posición de la mezcla dentro del pavimento. Estas son las principales aspectos que deben tomarse en consideración en la selección de un determinado ligante.

Para la evaluación del clima, es necesario hacer uso de registros de temperaturas del aire en la zona del proyecto, para determinar (haciendo uso de los software de apoyo) las temperaturas a la que estará expuesto el pavimento. Dos temperaturas son utilizadas: la temperatura máxima (promedio de siete días) y la temperatura mínima. Estos parámetros así seleccionados, establecen el grado del asfalto a utilizar en el proyecto, (un ejemplo de esto es el asfalto PG 64-22).

SUPERPAVE también recomienda utilizar los principios de confiabilidad para garantizar que las temperaturas escogidas no sean excedidas en el período de diseño del pavimento.

Adicionalmente, en donde el diseño geométrico indica velocidades de diseño entre 20 a 70 km/ hora, se recomienda incrementar la temperatura máxima en un grado para el tipo de asfalto escogido; En áreas de velocidades menores que 20 km/hora (estacionamientos, paradas de buses, etc.) se recomienda incrementar en dos grados. Las temperaturas mínimas no son afectadas.

Es importante indicar que en la especificación están establecidos los grados del ligante asfáltico, distanciados seis grados centígrados (6 °C). Esto significa que si inicialmente se había escogido el asfalto PG 64-22, por las características del proyecto, en zonas específicas del mismo, posiblemente se requerirán asfaltos PG 70-22 ó PG 76-22.

Situación muy similar es recomendada por la especificación respecto a los niveles de tráfico de diseño.

4.3 El caso Salvadoreño. Como se indicó anteriormente, en El Salvador se utiliza la especificación ASTM D 946 (graduación por penetración). No es posible actualmente introducir las especificaciones SUPERPAVE; Sin embargo, es posible con lo que se cuenta, mejorar los controles sobre el comportamiento de los ligantes asfálticos. Se considera que la exigencia en la utilización de la Carta Viscosidad-Temperatura de los asfaltos constituye una herramienta poderosa; Las temperaturas de mezclado y compactado de la mezcla asfáltica en el campo, deberán ser obtenidas a partir de la gráfica. Con las características conocidas del asfalto y el comportamiento del mismo a las temperaturas normales de trabajo, es posible orientar mejores controles y técnicas constructivas apropiadas.

Una manera de prevenir los problemas en los pavimentos asfálticos, sería la utilización de asfaltos de una determinada procedencia y la verificación de que los procedimientos de producción del mismo sean adecuadamente controlados (misma fuente de abastecimiento del crudo). Esto puede ser implementado en El Salvador, ya que regularmente el propietario es siempre el mismo (el Estado Salvadoreño).

5.0 Selección adecuada de los agregados de una mezcla asfáltica.

5.1 Comportamiento de los agregados en la mezcla.

Normalmente cuando se piensa en pavimentos de concreto asfáltico se tiende a pensar más en el ligante asfáltico que en los agregados minerales. Debido a que los agregados constituyen cerca del 95% en peso de la mezcla, estos deben ser atendidos apropiadamente en los procesos de selección y diseño de una mezcla asfáltica. Aunque los agregados minerales no son la parte compleja de la mezcla asfáltica, constituyen básicamente, la estructura que proporciona la resistencia de la mezcla ante cargas a las que está expuesto un pavimento. Por esta razón, los agregados deben poseer determinadas propiedades básicas respecto a forma, tamaño, resistencia, dureza y durabilidad de los mismos.

Esencialmente, los agregados pétreos deben de proporcionar a la mezcla una estructura capaz de resistir las aplicaciones repetidas de carga a las que un pavimento esta expuesto. Esta situación se asegura al utilizar agregados de forma cúbica, ya que por su forma y distribución de tamaños, tienden a formar una llave entre ellos y a asegurar que unas partículas se apoyen en otras; esta situación permite que el asfalto seleccionado cumpla con la función de actuar como un verdadero ligante, el cual mantiene unidas a las partículas.

Por lo anterior se puede indicar que para asegurar un buen comportamiento de las mezclas asfálticas, deberán especificarse propiedades en los agregados que contribuyan a incrementar la fricción interna entre las mismas, con lo cual también se incrementan las características de la mezcla a resistir los esfuerzos cortantes transmitidos por las cargas.

5.2 Especificaciones SUPERPAVE sobre agregados.

Las especificaciones contenidas en SUPERPAVE sobre los agregados han sido subdivididas en **propiedades concensadas y propiedades de fuente**. La mayoría de los ensayos establecidos para la medición de tales propiedades son conocidos por los ingenieros salvadoreños dedicados a las carreteras, por lo cual pueden ser fácilmente utilizadas en el medio.

En las propiedades concensadas se consideran criterios para alcanzar un alto comportamiento de la mezcla; estas propiedades son: angularidad de los agregados finos, angularidad de los agregados gruesos, partículas planas y alargadas, y contenido de arcilla (medido por medio del ensayo de equivalente de arena). Las especificaciones establecen los criterios de evaluación en función del nivel de tráfico esperado, con lo cual se asegura racionalmente el buen comportamiento de la mezcla.

Las propiedades de fuente son aquellas que se utilizan para calificar la calidad de las fuentes de agregados; estas propiedades son: Dureza del agregado, Sanidad del agregado y Partículas frágiles y desmenuzables. SUPERPAVE recomienda que las entidades locales especifiquen requerimientos mínimos para un proyecto específico.

La granulometría de las mezclas

Las características granulométricas de los agregados a utilizar en una mezcla asfáltica, son aspectos extremadamente importante en SUPERPAVE. Para asegurar comportamientos apropiados de las mezclas debidas a los agregados, se recomienda la utilización de las cartas "exponente 0.45".

Las especificaciones proporcionan puntos de control y zonas restringidas a utilizar en las cartas "exponente 0.45", que la granulometría de los agregados debe de cumplir.

Como parte de la selección de la estructura granulométrica de los agregados, SUPERPAVE recomienda que la granulometría seleccionada pase entre los puntos de control y que se eviten granulometrías que pasen por la zona restringida.

Una de las características de las cartas "exponente 0.45", es que pueden dibujarse sobre estas, las curvas de máxima densidad de los agregados a partir del tamaño máximo de los mismo, con lo cual el ingeniero puede evitar mezclas asfálticas extremadamente rígidas (de máxima densidad) con mínimos vacíos.

5.3 La aplicación en El Salvador.

La utilización de las cartas "exponente 0.45" es una herramienta para nuestros ingenieros en la selección de la granulometría de los agregados. De esta forma se pueden evitar mezclas con granulometrías muy cercanas a la línea de máxima densidad y se asegura (según los investigadores del SHRP), mezclas con una estructura resistente a la deformación permanente (rutting) y que alcanzan suficientes vacíos para la durabilidad de la mezcla, cuando esta es incorporada en un pavimento asfáltico.

Debido a que no han existido cambios sustanciales en SUPERPAVE, en el país los aspectos relacionados a la granulometría pueden ser adecuadamente tratados, ya que se cuenta con las herramientas necesarias. El uso de las granulometrías corrientemente utilizadas en el salvador deberán ser evaluadas (o en el caso cambiadas), para ir introduciendo los conceptos manejados por SUPERPAVE.

6.0 Selección del diseño de una mezcla asfáltica.

6.1 Especificación SUPERPAVE.

Los criterios de selección de una mezcla asfáltica en el sistema SUPERPAVE, están presentados en la especificación ASSHTO MP2-95. En la especificación se establecen las características volumétricas y de densificación de los especímenes de prueba, fabricados usando el compactador giratorio. SUPERPAVE asegura que la mezcla diseñada conforme a la especificación, poseerá un comportamiento óptimo, cuando esta se encuentre como carpeta, en un pavimento asfáltico.

Selección de la mezcla de diseño.

SUPERPAVE recomienda como primer paso en la selección de la mezcla, pruebas previas del comportamiento de la granulometría de los agregados seleccionada, usando los conceptos ya estudiados.

Para lo anterior se fabrican mezclas de prueba utilizando un contenido de asfalto estimado, que produciría un porcentaje de vacíos de aire en la mezcla del 4% aproximadamente; se recomienda la utilización de al menos tres granulometrías de trabajo.

En este nivel de trabajo se hacen necesarias correcciones matemáticas en las mezclas compactadas, para determinar cuales habrían sido las propiedades volumétricas de las mezclas si se hubieran utilizado el contenido de asfalto correcto; es decir aquel que produciría exactamente el 4% de contenido de aire en la mezcla. Estas propiedades son comparadas con las especificaciones y se escoge la granulometría que reúne en mayor grado la misma. La granulometría así escogida es llamada **la estructura de diseño de los agregados**.

El paso siguiente es el estudio de la granulometría seleccionada, para lo cual se usan cantidades diferentes de contenidos de asfalto y se determinan para cada contenido de asfalto, las propiedades volumétricas de cada mezcla. **Las propiedades volumétricas son graficadas en base a su contenido de asfalto y, en base a estas gráficas, se selecciona como punto clave, el contenido de asfalto que produce el 4% de vacíos de aire en la mezcla.** Basados en este contenido de asfalto seleccionado y utilizando el mismo procedimiento, se determinan las otras propiedades de la mezcla.

El último paso para la evaluación de la mezcla seleccionada, es verificar su comportamiento ante la humedad; este ensayo esta establecido en ASSHTO T283. Si la mezcla no reúne características apropiadas, habría la posibilidad de utilizar un aditivo antideslizante para el asfalto o en su defecto, seleccionar otro diseño de la mezcla.

Las propiedades de la mezcla obtenidas al porcentaje de asfalto seleccionado y que producen el 4% de vacíos de aire, deberán cumplir con lo establecido en la especificación; la mezcla seleccionada es constituye la **Fórmula de Trabajo de la mezcla de diseño**.

6.2 El caso salvadoreño.

En El Salvador el método conocido y empleado para el diseño de mezclas asfálticas es el **Método Marshall**. Como se ha discutido en párrafos anteriores, definitivamente no es posible por el momento, llevar a cabo todos los procedimientos recomendados por SUPERPAVE; Sin embargo, deben ser del conocimiento de los ingenieros salvadoreños dedicados a esta área, para visualizar las

posibles aproximaciones del método conocido a los nuevos procedimientos, así como para el mejoramiento de lo que actualmente se realiza.

Se considera que empleando el Método Marshall, junto con los criterios de selección de los agregados, la granulometría de los mismos, el criterio del 4% de vacíos de aire en la mezcla y la evaluación de la susceptibilidad ante la humedad de las mezclas, es factible, proporcionar mezclas asfálticas de buen comportamiento. Esto significa que podemos cumplir con una buena parte del llamado nivel 1 del SUPERPAVE, ya que muchos de los procedimientos que se emplean son conocidos por los ingenieros salvadoreños.

7.0 Trabajo realizado por el CIG.

Con el objeto de estudiar la influencia que tiene la granulometría de los agregados y el contenido de asfalto en los resultados de estabilidad Marshall, se llevo a cabo recientemente en el CIG el trabajo de laboratorio que se presenta a continuación, utilizando los rangos granulométricos recomendados por SUPERPAVE.

Trabajo desarrollado.

Los trabajos desarrollados para la realización de los trabajos de laboratorio requeridos, consistieron en:

Muestreo y ensayo de materiales a utilizar en el proyecto.

Para esta actividad, se seleccionaron materiales utilizados en la planta asfáltica Lourdes, propiedad de M.O.P. El asfalto fue muestreado en planta asfáltica Lourdes y los agregados en la cantera que los produce. Previamente, a raíz de los trabajos desarrollados para muchas canteras, se habían seleccionado los agregados a utilizar.

Las características de los materiales utilizados, medidas a través de ensayos realizados en el CIG, se muestran en las tablas [1](#), [2](#) y [fig.1](#).

Por las condiciones de la investigación, las características de los materiales utilizados se mantienen constantes.

Fabricación de granulometrías de trabajo.

Con el fin de poder estudiar el comportamiento de la granulometría de los agregados, se fabricaron a partir de diferentes tamaños de agregados de una planta local, cinco (5) granulometrías de trabajo. Tales granulometrías están basadas en las recomendaciones granulométricas de SUPERPAVE, para un tamaño máximo del agregados de 3/4 de pulgada.

Las granulometrías en estudio fueron identificadas como:

Granulometría A: De Máxima Densidad.

Granulometría B: Límite superior SUPERPAVE.

Granulometría C: Límite inferior SUPERPAVE.

Granulometría D: Más allá del Límite superior SUPERPAVE.

Granulometría E: Más baja que el Límite inferior SUPERPAVE

Las datos sobre las granulometrías correspondientes son presentados en la figura [2](#).

Fabricación de mezclas de trabajo.

Para la realización de los trabajos correspondientes, se fabricaron mezclas de prueba con diferentes contenidos de asfalto, los cuales fueron seleccionados a partir de la experiencia en el uso de los agregados seleccionados. Se seleccionaron contenidos de asfalto entre 4.0 % y 6.0 %, por lo cual se fabricaron por cada granulometría en estudio cinco (5) mezclas de laboratorio, que generaron un total de veinticinco (25) mezclas de trabajo.

Basados en el comportamiento del asfalto utilizado, representado por la carta Viscosidad - Temperatura (fig. [1](#)), la mezcla del asfalto con los agregados se realizó a una temperatura de 155 °C y la compactación de los especímenes de ensayo, a una temperatura de 143 °C.

Resultados de la investigación.

Los resultados de los ensayos se presentan gráficamente en la figura [3](#) y [4](#). Las gráficas indican claramente el comportamiento de cada una de las granulometrías ensayadas, medida mediante la estabilidad marshall y las diferentes densidades de las mismas, para diferentes contenidos de asfalto.

Algunas conclusiones del trabajo de laboratorio desarrollado.

A partir de las figuras [3](#) y [4](#), podemos concluir:

1. Es factible obtener resultados apropiados de estabilidad (1800 lbs - 4000 lbs) y contenidos de asfalto bajos (entre 4% al 5%), con la utilización de granulometrías de agregados que estén comprendidas entre los límites de SUPERPAVE.
2. Estabilidades mayores de 3,000 lbs, pueden ser fácilmente obtenidas utilizando granulometrías que se encuentren arriba de la línea de máxima densidad.
3. Estabilidades menores de 1,500 lbs se obtienen con la utilización de granulometrías que se encuentren abajo de la curva de máxima densidad y del límite inferior de SUPERPAVE.
4. Las mezclas asfálticas con granulometrías más allá del límite superior de SUPERPAVE se consideran finas, tienden a ser menos estables y a requerir cantidades comparativamente mayores de contenido de asfalto, por lo cual podrían ser menos económicas.
5. Los valores de la gravedad específica bulk de los especímenes de laboratorio fabricados con granulometrías que siguen la línea de máxima densidad, son mayores que aquellas que se alejan de esta, para los porcentajes de asfalto normalmente utilizados en mezclas asfálticas.

6. Mezclas asfálticas con granulometría que no siguen la línea de máxima densidad pero que están de acuerdo con los rangos granulométricos de SUPERPAVE, presentan valores de gravedad específica bulk aceptables.

7. Las mezclas con granulometrías fuera de los rangos de SUPERPAVE son las que presentan valores de gravedad específica bulk, comparativamente bajos.

7.1 La aplicación de los conceptos en el CIG. Ejemplo.

Ya que el CIG lleva a cabo trabajos de verificación en la Planta asfáltica Lourdes, propiedad del M.O.P. se han llevado a la práctica en dicha planta, la aplicación de los criterios discutidos en este artículo, con el fin de que el lector visualice que es posible mejorar la calidad de las mezclas, con la aplicación de los conceptos antes mencionados.

Los trabajos desarrollados por el CIG consisten en la revisión de las características granulométricas de la mezcla, así como del contenido de asfalto de la fórmula de trabajo diseñada por el CIG para dicha planta. La mezcla diseñada cumple con los requisitos estipulados por las especificaciones FP.

Resultados de los ensayos de verificación.

Las muestras han sido tomadas directamente de la descarga de la planta mezcladora. La figura 5, muestra las curvas granulométricas de dos mezclas muestreadas por personal del CIG en diferentes fechas. Ambas curvas están dentro de los rangos granulométricos recomendados por SUPERPAVE.

Los resultados de los ensayos realizados a ambas muestras son:

| Característica | Muestra 1 | Muestra 2 |
|----------------------------|------------------|------------------|
| % cemento asfáltico | 6.1 % | 6.0 % |
| Estabilidad Marshall (lbs) | 4,332 | 4,340 |
| Flujo Marshall (0.01") | 11 | 17 |
| Gravedad esp. Bulk | 2.4 | 2.38 |
| Contenido de Vacíos | 4.2 | 3.7 |

Como puede observarse, se obtienen contenidos de vacíos de aire apropiados, con la selección apropiada de la cantidad de asfalto y de la granulometría de la mezcla.

8.0 Conclusiones del artículo.

a) Se considera que los conceptos discutidos en este artículo pueden ser de aplicación práctica en El Salvador, ya que los principios que involucra el diseño apropiado de las mezclas asfálticas, son del conocimiento de los ingenieros dedicados al área de los pavimentos.

b) El método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas, puede seguir siendo utilizado en El Salvador, ya que involucra conceptos que se aplican también en el primer nivel de SUPERPAVE. El

hecho de no poder implementar todos los conceptos del sistema SUPERPAVE en El Salvador, no es motivo para no poder diseñar mezclas asfálticas de comportamiento adecuado en los pavimentos.

c) Las prácticas constructivas sanas, los adecuados diseños de las mezclas asfálticas y racionales controles de calidad de los materiales involucrados, son aspectos que no deben de faltar para mejorar el comportamiento de las mezclas, cuando están incorporadas como carpeta asfáltica en los pavimentos.

TABLA 1
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS
UTILIZADOS EN EL PROYECTO DE INVESTIGACION DE LABORATORIO

| Ensayo | Muestra | Resultados |
|--|-------------------|------------|
| Resistencia Abrasión en Máquina Los Angeles (ASTM C-131) | - Agregado grueso | 26.82 % |
| Sanidad de los Agregados (ASTM C-88) (Sulfato de Sodio) | - Agregado grueso | 0.35 % |
| | - Chispa | 5.13 % |
| Grumos de Arcilla y Partículas Desmenuzables en Agregados (ASTM C-142) | - Agregado grueso | 0.30 % |
| | - Chispa | 0.33 % |
| Gravedad Específica Absorción (ASTM C-127) | - Agregado grueso | 2.58 |
| | - Agregado grueso | 1.80 % |
| Gravedad Específica Absorción (ASTM C-128) | - Chispa | 2.55 |
| | - Chispa | 0.97 % |
| Partículas Planas y Alargadas (ASTM C-693) | - Agregado grueso | 0.00 % |
| Equivalente de Arena (ASTM D-2419) | - Agregado grueso | 74.07 % |
| Límite Líquido (ASTM D-4318) | - Agregado fino | 18.7 % |

TABLA 2
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL CEMENTO ASFALTICO
UTILIZADO EN EL PROYECTO DE INVESTIGACION DE LABORATORIO

| Ensayo | Resultados |
|--|------------|
| Punto de encendido (°C) | 268 |
| Inflamación | 290 |
| Combustión | |
| Penetración (0.1 mm) (25°C, 100 grs. 5 seg) | 65 |
| Ductilidad (25°C, 5 cm/min) | + 150 |
| Gravedad Específica (25°C) | 1.0132 |
| Película Delgada | |
| - Penetración (0.1 mm) (25°C, 100 grs, 5 seg) | 40 |
| - Ductilidad (25°C, 5 cm/min) | 24 |

FIGURA 1

CARTA VISCOSIDAD - TEMPERATURA
PROYECTO INVESTIGACION DE LABORATORIO

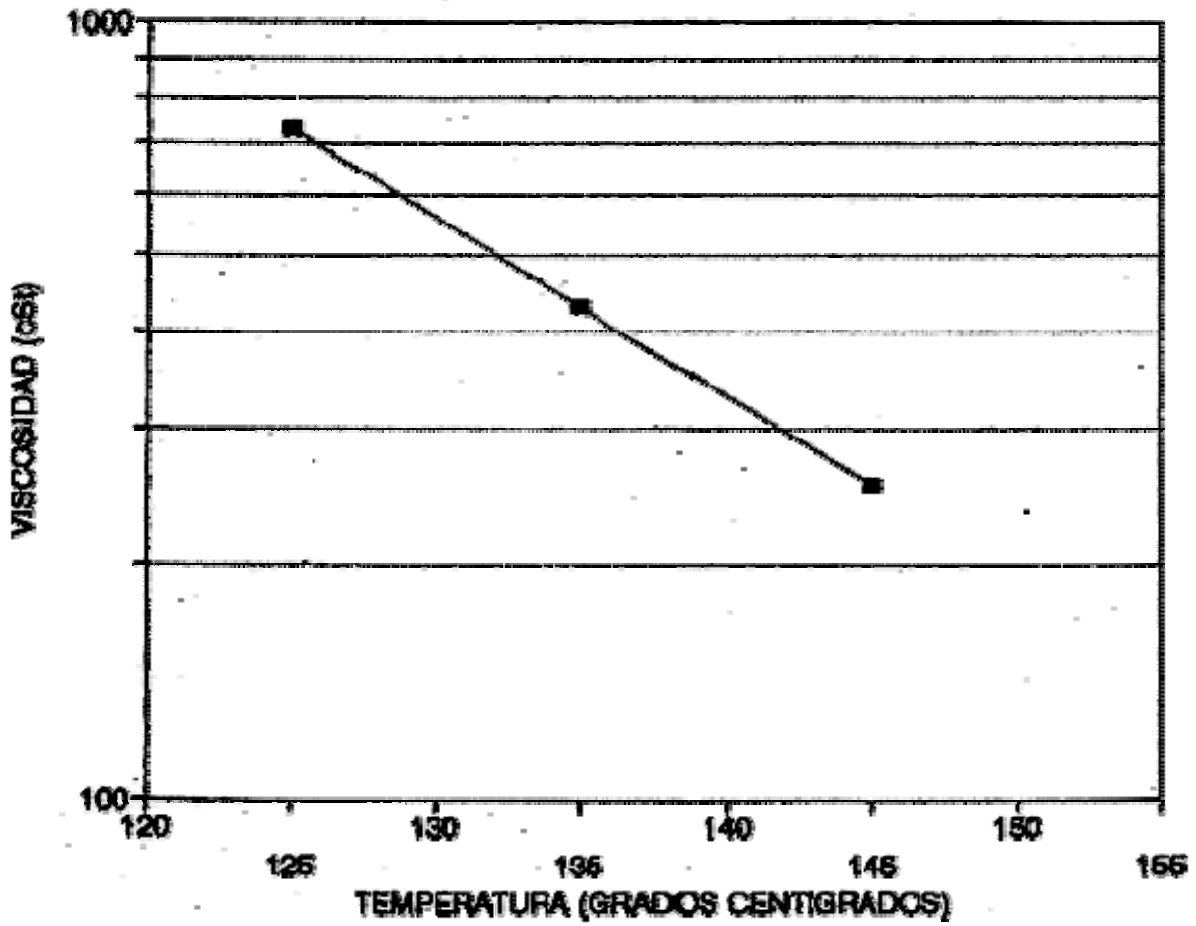


FIGURA 2
CURVAS GRANULOMETRICAS ESTUDIADAS

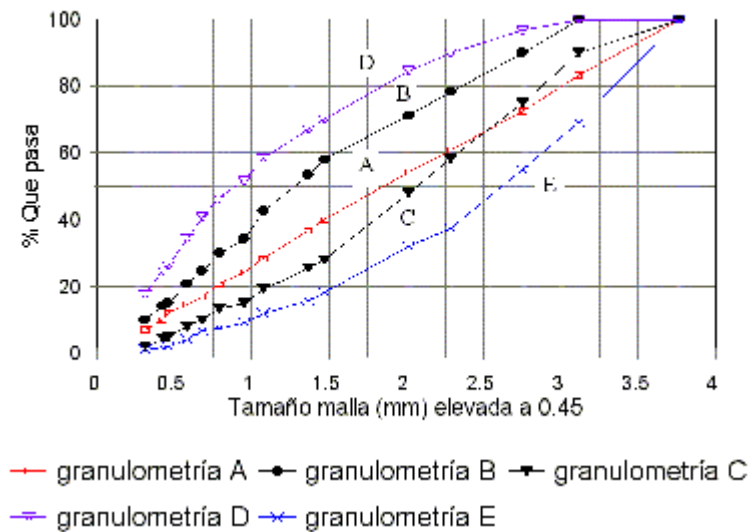


FIGURA 3
CURVAS ESTABILIDAD-GRANULOMETRIA

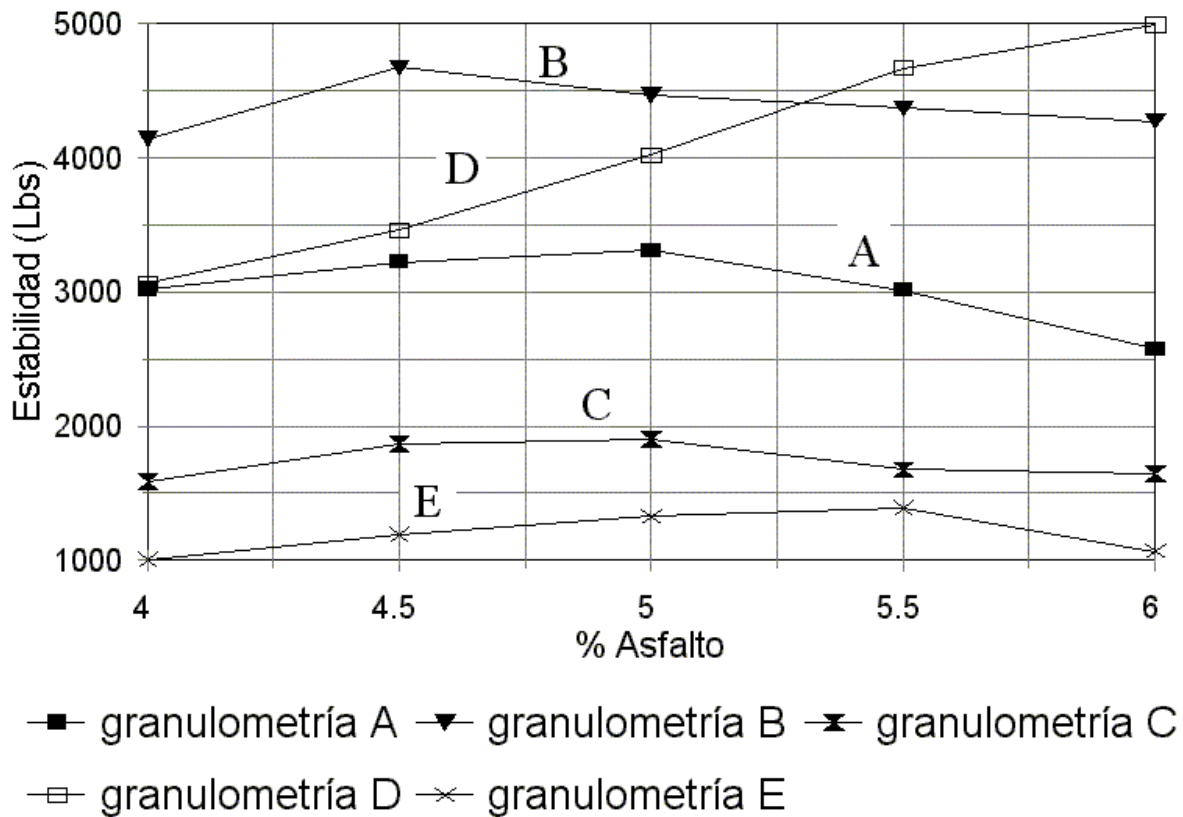
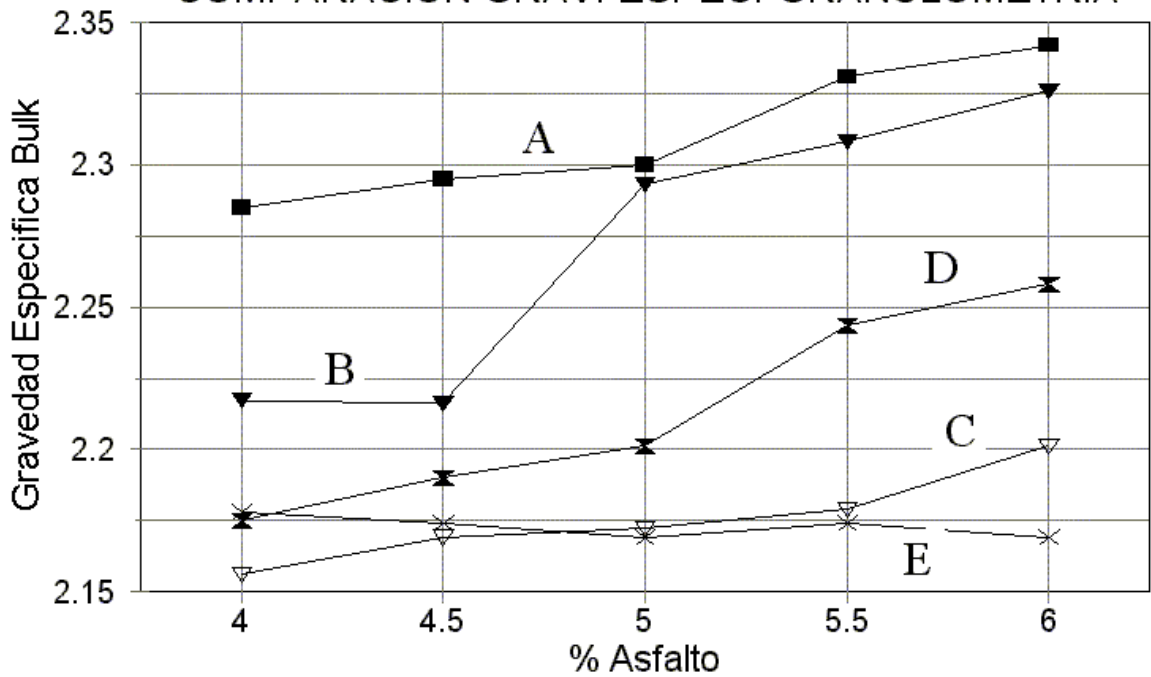
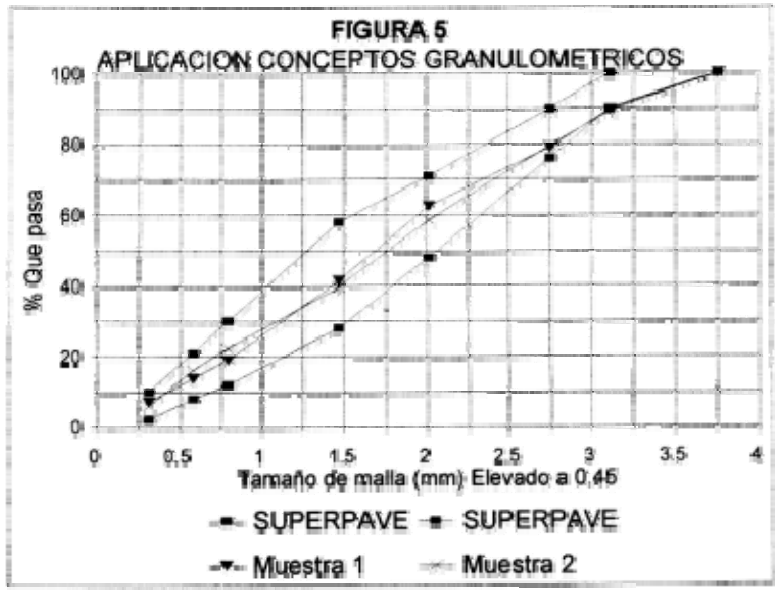


FIGURA 4
COMPARACION GRAV. ESPEC.-GRANULOMETRIA



■ granulometría A ▼ granulometría B ▽ granulometría C
 ✕ granulometría D ✕ granulometría E



Bibliografía.

1. Notas del curso:

Pavement Distress Identification for Rehabilitation and Design.
Impartido por NATIONAL HIGHWAY INSTITUTE.
U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration.
Universidad de Reno, Nevada
Septiembre 28 - Octubre 8 de 1998.

2. GUIDE FOR Design of Pavements Structures. 1993.
American Associate of State Highway and transportation Officials

3. BACKGROUND of SUPERPAVE ASPHALT MIXTURE DESIGN and ANALYSIS.
National Asphalt training Center. Demonstration Project 101. Publication No FHWA-SA-95-003.

4. American Society for Testing and Materials. Vol. 04.03, Edición 1996.

Regresar a [Pagina Principal](#)

E-mail: uidv.contacto@mop.gob.sv