



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MEZCLAS PARA PAVIMENTOS CON  
ASFALTOS MODIFICADOS EN NICARAGUA, UTILIZANDO EL MÉTODO  
MARSHALL**

Para optar al título de ingeniero civil

**Elaborado por**

Br. Kelsey Concepción Zeledón Pérez

Br. Luis Gerardo Silva Torres

Br. Roldan Aquiles Torres Luna

**Tutor**

Ing. Israel Morales.

**Asesor**

Ing. Salvador Mayorga

Managua, Febrero 2019

# Índice General

<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>Diseño Metodológico.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 2. AGREGADOS .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Generalidades .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Obtención de los agregados.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Clasificación de los agregados .....</b>	<b>10</b>
2.3.1 Clasificación según su procedencia.....	10
2.3.2 Clasificación según su tamaño .....	11
2.3.3 Clasificación según su densidad.....	12
<b>2.4 Propiedades de los Agregados .....</b>	<b>12</b>
2.4.1 Propiedades Físicas.....	12
2.4.2 Propiedades Mecánicas.....	19
<b>2.5 Caracterización de agregados .....</b>	<b>21</b>
2.5.1 Especificaciones Generales para agregados NIC 2000 .....	27
<b>CAPÍTULO 3. ASFALTO, POLÍMEROS Y SU USO EN LA MODIFICACIÓN DEL ASFALTO.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 El Asfalto.....</b>	<b>28</b>
3.1.1 Introducción.....	28
3.1.2 Clasificación de los Asfaltos.....	29
3.1.3 Propiedades físicas del asfalto de pavimentación .....	32
<b>3.2 Polímeros.....</b>	<b>36</b>
3.2.1 Definición:.....	36
3.2.2 Clasificación de los polímeros.....	36
3.2.3 Principales modificadores utilizados en el asfalto.....	37
3.2.4 Polímeros modificadores usados en esta investigación .....	38
<b>3.3 Asfalto Modificado .....</b>	<b>41</b>
3.3.1 Antecedentes .....	41
3.3.2 Definición.....	41
3.3.3 Objetivo de la modificación de Asfalto .....	41

3.3.4	Consideraciones Generales para la Modificación de asfaltos.....	42
3.3.5	Fórmulas de Trabajo .....	44
3.3.6	Caracterización de los ligantes asfálticos .....	45
<b>CAPÍTULO 4. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS .....</b>		<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>53</b>
<b>4.2</b>	<b>Definición de la granulometría de trabajo .....</b>	<b>53</b>
4.2.1	Combinación de agregados .....	54
<b>4.3</b>	<b>Mezclas Asfálticas Estructurales .....</b>	<b>56</b>
<b>4.4</b>	<b>Método de Diseño Marshall.....</b>	<b>59</b>
4.4.1	Antecedentes .....	59
4.4.2	Definiciones.....	59
4.4.3	Procedimiento de Ensayos Marshall.....	60
4.4.4	Determinación del contenido óptimo de Asfalto.....	61
<b>4.5</b>	<b>Ensayo de Tracción Indirecta o Resistencia Retenida a la Tensión Diametral .....</b>	<b>63</b>
<b>CAPÍTULO 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>		<b>66</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterización de Agregados .....</b>	<b>66</b>
5.1.1	Presentación de Resultados .....	66
5.1.2	Análisis e interpretación de Resultados.....	71
<b>5.2</b>	<b>Caracterización de los ligantes asfálticos.....</b>	<b>73</b>
5.2.1	Análisis e interpretación de Resultados.....	75
<b>5.3</b>	<b>Diseño de Mezclas Asfálticas .....</b>	<b>77</b>
5.3.1	Definición Granulometría de Diseño .....	78
5.3.2	Determinación del contenido Óptimo de Asfalto.....	81
5.3.3	Evaluación del desempeño de las mezclas diseñadas .....	84
5.3.4	Análisis e interpretación de resultados .....	85
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>94</b>

## Dedicatoria

---

Dedicamos la investigación:

A **Dios**, por el tesoro de la vida y la oportunidad de alcanzar este anhelado objetivo.

A **nuestros padres**, por su amor, trabajo y sacrificio, y principalmente por ser motivación y soporte en tiempos de desánimo.

A **la comunidad educativa de la Universidad Nacional de Ingeniería**, en especial al cuerpo docente de la Facultad de Tecnología de la Construcción, por contribuir a nuestra formación profesional.

## Agradecimiento

---

Agradecemos de forma especial a las empresas que nos abrieron sus puertas para poder realizar este trabajo investigativo, PAVINIC S.A, SOLTEC S.A e INSUMA, principalmente al Ingeniero Salvador Mayorga Trejos quien compartió su conocimiento, experiencia y consejos, lo que significó un apoyo fundamental para el desarrollo de este trabajo.

A nuestro tutor ingeniero Israel Morales, por sus orientaciones y consejos para producir este trabajo investigativo.

A todas las personas que contribuyeron directa e indirectamente en nuestra formación personal y profesional.

## Resumen Ejecutivo

---

El presente trabajo buscó evaluar en laboratorio el cambio en la resistencia mecánica que experimentan mezclas asfálticas densas en caliente cuando se adicionan al cemento asfáltico, aditivos poliméricos como SBS y ELVALOY. Para tal fin se empleó el ensayo Marshall.

El capítulo 2 contempla el marco teórico sobre los agregados, componentes principales de la mezcla asfáltica, y los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades granulométricas, físicas y mecánicas de estos, para realizar su respectiva caracterización.

El capítulo 3 expone el asfalto, detallando su clasificación y propiedades físicas, de igual forma se hace referencia al uso de polímeros en la modificación del asfalto, los objetivos perseguidos con la modificación y las condiciones para llevarla a cabo, resaltando los ensayos para caracterizar los ligantes asfálticos.

El capítulo 4 aborda el Diseño de mezclas asfálticas a través de la metodología Marshall, describiendo el procedimiento para definir la combinación de agregados que generen una adecuada granulometría y los procedimientos necesarios para confeccionar las mezclas, de acuerdo con el “Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot-Mix types MS-2 Six Edition” publicado por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos, para determinar el contenido óptimo de asfalto de las mezclas.

El desarrollo experimental presentado en el capítulo 5, expone los resultados de caracterización de los agregados provenientes en este caso, del Banco “El Portillo” ubicado en Carretera hacia Veracruz, los cuales son producidos mediante trituración por la Empresa PROINCO.

Se determinan las propiedades reológicas del asfalto AC-30 producido por Puma Energy International B.V, así como las del ligante asfáltico modificado con SBS y ELVALOY, todos suministrados por la empresa SOLTEC, S.A.

Se exhibe el proceso de diseño de las Mezclas asfálticas en caliente tanto con asfalto convencional AC-30 como con asfalto modificado con SBS y con Elvaloy, todas con un tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " para tránsito pesado, resaltando los parámetros Marshall establecidos en las "Especificaciones Generales para calles, caminos y puentes NIC 2000".

Una vez confeccionadas las mezclas de trabajo, se desarrolla la evaluación de desempeño, determinando sus propiedades volumétricas, estabilidad y flujo Marshall. Como una forma de complementar la evaluación se incluye el ensayo de tensión diametral, con el fin de evaluar la susceptibilidad de las mezclas a la acción del agua.

Por último se presenta el contraste entre los resultados obtenidos en los ensayos, así como las conclusiones alcanzadas producto de la investigación.

## Glosario de Términos

---

**Agregado** Material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

**Ahuellamiento** Surcos que se desarrollan en el pavimento, en los carriles de las ruedas. Ocurren como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el tráfico.

**Asfalto** Material cementante de color oscuro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo.

**Asfalto modificado** Producto resultante de la incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido.

**Bitumen** Sustancia cementante de color negro (sólida, semi- sólida o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas o alquitranes, los betunes y las asfaltitas.

**Cemento asfáltico** Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.

**Compactación** Acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño, a través de la reducción de los vacíos, incrementando la densidad.

**Consistencia** Describe el grado de fluidez o plasticidad de un cemento asfáltico a determinada temperatura. La consistencia de un cemento asfáltico varía con la temperatura: por lo tanto es necesario usar una temperatura patrón cuando se está comparando la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro. La temperatura utilizada para este propósito es 60°C (140°F).

**Deformación permanente:** comportamiento ante un proceso de carga mediante el desarrollo instantáneo de deformaciones específicas, durante la descarga la deformación elástica se recupera de forma inmediata para quedar finalmente las deformaciones irrecuperables.

**Densidad** Grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada. Está limitada por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la mezcla.

**Desintegración** Separación progresiva de las partículas del agregado en el pavimento desde la superficie hacia abajo, o desde los bordes hacia el interior. Puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa de rodadura muy delgada en periodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

**Ductilidad** Capacidad de una sustancia para ser estirada o estrechada en forma delgada. Es la propiedad que tienen los asfaltos de mantenerse coherentes bajo grandes deformaciones inducidas por el tránsito. Los asfaltos más dúctiles son más adhesivos (ASTM D113).

**Elvaloy:** es un terpolímero elastomérico reactivo (RET, por sus siglas en inglés), especialmente formulado para la modificación de asfalto, para mezclas calientes y emulsiones modificadas. Tiene un excelente desempeño para alto tráfico, buenos resultados ante temperaturas extremas, alta resistencia al ahuellamiento y fatiga.

**Envejecimiento:** El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos altera las propiedades fisicoquímicas del material y por ende la durabilidad de los pavimentos asfálticos.

**Estabilidad** Capacidad de una mezcla asfáltica de resistir deformación bajo las cargas impuestas, está en función de la cohesión y la fricción interna del material.

**Fatiga:** es un tipo de deterioro que con mucha frecuencia se produce en la huella donde las cargas pesadas son aplicadas. Las fisuras longitudinales intermitentes a lo largo de la huella (esto es, en la dirección del tránsito) son un signo prematuro de fisuración por fatiga, este es de tipo progresivo.

**Flexibilidad** Capacidad del pavimento asfáltico de ajustarse a los asentamientos en la fundación.

**Flujo:** Es la deformación que sufre la mezcla medida en centésima de pulgada. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de briqueta sometida al ensayo Marshall.

**Impermeabilidad** Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

**Inmiscibilidad:** Incapacidad de dos sustancias de constituir una solución homogénea, más allá de las proporciones implicadas.

**Mezcla asfáltica en caliente** Mezclas de planta que deben ser colocadas y compactadas a temperaturas elevadas.

**Ondulaciones** Deformación en el pavimento, dando origen a un movimiento plástico caracterizado por ondas en la superficie del pavimento.

**Penetración** Consistencia de un material bituminoso, se expresa como la distancia, en décimas de milímetro (0.1 mm), que una aguja patrón penetra verticalmente una muestra del material bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.

**Poise** Unidad, centímetro-gramo-segundo, de viscosidad absoluta.

**Polímero** Son sustancias de alto peso molecular, formadas por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples).

**Punto de Chispa:** Es la temperatura a la cual el asfalto puede ser calentado, sin peligro a que se inflame en presencia de una llama. Esta temperatura es más baja que la necesaria para que el material entre en combustión.

**Reología:** Ciencia del flujo y de la deformación de la materia, la cual estudia las relaciones constitutivas de los materiales.

**Resistencia a la fatiga** Capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por cargas móviles. Entre más alto contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.

**SBS:** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base de bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno Butadieno Estireno (SBS).

**Stoke** Unidad de viscosidad cinemática igual a la viscosidad de un fluido en poises dividida entre la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico.

**Susceptibilidad Térmica:** El cambio de la consistencia medida generalmente por la viscosidad, con un cambio de temperatura. En el asfalto es la variación de las propiedades al ser sometido a determinadas temperaturas.

**Tamiz** Aparato de aberturas cuadradas, utilizado para separar tamaños de material.

**Trabajabilidad** Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.

**Viscosidad** Medida de la resistencia al flujo. Método usado para medir la consistencia del asfalto.

**Viscosidad absoluta** Método utilizado para medir viscosidad usando el poise como la unidad de medida. Este método hace uso de un vacío parcial para inducir el flujo en el viscosímetro.

## Siglas y abreviaturas

---

**AASHTO** Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte.

**ASTM** Sociedad Americana para Ensayos y Materiales

**dmm:** Décimas de milímetro

**INSUMA, S.A** Instituto de Suelos y Materiales, Sociedad Anónima

**MAC:** Mezcla Asfáltica en Caliente

**NIC 2000:** “Especificaciones Generales para calles, caminos y puentes”

**PAV:** Pressure Aging Vessel (Vaso de envejecimiento bajo presión)

**PAVINIC, S.A** Pavimentos de Nicaragua, Sociedad Anónima

**PG:** Performance Grade (Grado de Desempeño)

**PROINCO, S.A** Productos Industriales de Concreto, Sociedad Anónima.

**RTFOT** Rolling Thin Film Oven Test (Ensayo en horno de Película Delgada Rotativa)

**SBS:** Estireno- Butadieno- Estireno

**SOLTEC, S.A** Soluciones Técnicas, Sociedad Anónima (Proveedor de Asfalto Modificado)

**TSR:** Tensile Strenght Ratio (Ensayo de Tensión diametral).

# CAPÍTULO 1. Generalidades

---

## Introducción

“Evaluación del desempeño de mezclas con asfaltos modificados en Nicaragua, usando el método Marshall” surge como una necesidad de construir carreteras de mayor durabilidad en nuestro país, lo que se logra con un buen diseño y especial atención a las especificaciones técnicas, pero sobre todo con la utilización de materiales con mejores características y propiedades, que reduzcan los ciclos de mantenimiento y aumenten la vida útil de las vías.

Está plenamente demostrado que los asfaltos convencionales poseen propiedades muy satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el incremento del volumen del tránsito, la presencia de cargas fuera de norma, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

Por lo tanto, una solución evidente fue mejorar algunas características de los asfaltos para lograr un mejor comportamiento de los pavimentos. Ello dio origen a nuevos asfaltos que genéricamente fueron denominados "**Asfaltos Modificados con polímeros**". Los modificadores utilizados en los asfaltos, son polímeros o sustancias inertes que combinadas químicamente con el asfalto tienen la propiedad de generar un “asfalto modificado” el cual cuenta con propiedades “mejoradas”, según las necesidades de servicio.

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento, algunos autores consideran que puede ser de dos a tres veces (según el caso a aplicar), con un costo adicional de hasta un 25 % sobre el costo de la mezcla asfáltica. Por lo general, lo que se busca con este tipo de tecnología es mejorar algunas de las propiedades mecánicas y reológicas de los asfaltos y las mezclas

asfálticas convencionales, tales como la susceptibilidad térmica, la rigidez y la resistencia al envejecimiento, a las deformaciones plásticas y a la fatiga.

Por esta razón, parte de esta investigación consiste en la caracterización de los materiales e insumos que componen las mezclas asfálticas elaboradas en nuestro país, determinando tanto las propiedades físico-mecánicas de los agregados; así como las propiedades reológicas del asfalto AC-30 en estado original, y del obtenido mediante la incorporación de los modificadores ELVALOY y SBS, los cuales representan las soluciones más demandadas del mercado.

Sin embargo el objetivo principal de esta investigación consiste en cuantificar el cambio en la resistencia mecánica de las mezclas modificadas en relación a la mezcla convencional, a través de la realización de ensayos Marshall. Esta investigación fue llevada a cabo gracias al apoyo de las empresa PAVINIC S.A, SOLTEC S.A e INSUMA, quienes proporcionaron documentación, insumos y materiales, laboratorios y equipos que hicieron posible la realización de este trabajo.

## **Antecedentes**

Aún queda mucho por hacer en materia de mejoramiento vial en Nicaragua. Solo el 17% de los de 24,334 km que constituyen su red vial inventariada, tiene algún tipo de pavimento (Adoquín, Asfalto y Concreto Hidráulico), y un 13% tiene alguna cubierta de material granular. Este 17% corresponde a 4,127.09 km, de los cuales el 60% (2,467 km) corresponden a carreteras de pavimentos Asfálticos, según datos de la División General de planificación del MTI, en su publicación Red vial Nacional 2016.

Cabe destacar que gran parte de la red vial asfaltada fue construida antes del año 1996, cuando el diseño de pavimentos siguiendo la metodología AASHTO, de multicapas elásticas, era relativamente inexistente, las cuales han superado, por mucho, su periodo de diseño, y deben ser reconstruidas, debido a que se encuentran en mal estado.

El procedimiento más utilizado en nuestro país para la construcción de carpetas de rodamiento para pavimentos flexibles, es mediante la aplicación de mezcla asfáltica en caliente, utilizando como aglutinante cemento asfáltico AC-30, con grado de desempeño PG 64 (25); que lo hace apto para toda la red vial del país según la investigación: “Experiencia nicaragüense en la implementación de ensayos para la determinación del tipo de cemento asfáltico por grado de desempeño (PG)- SUPERPAVE” realizada en el 2013 con ensayos en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

El desempeño de las capas asfálticas en los pavimentos construidos en los últimos años en Nicaragua, ha sido variable. En algunos casos se ha observado deterioro prematuro, mientras en otros casos la superficie ha mostrado mayor resistencia ante los agentes actuantes: las cargas de tráfico y las variables medio ambientales.

No obstante, con independencia de la capacidad de la capa asfáltica, ha sido una constante la aparición de grietas en la superficie de rodamiento, lo que conlleva a realizar mantenimientos más frecuentes, para impedir que el agua termine causando el deterioro total de la estructura, todos estos problemas, sumados al creciente incremento de volumen del tránsito, la presencia de cargas fuera de norma, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes, lo que conlleva a la tarea de implementar los asfaltos modificados.

La Empresa Pavimentos de Nicaragua, S.A. (PAVINIC S.A) ha sido la pionera en el diseño y fabricación de mezcla asfáltica modificada en nuestro país, suministrando mezcla asfáltica modificada a la Alcaldía de Managua (ALMA) principalmente, seguidamente las constructoras ASTALDI S.p.A. y LLANSA Ingenieros S.A implementaron esta tecnología en sus proyectos.

Por tanto, podemos asegurar que la aplicación de mezclas asfálticas modificadas en nuestro país se encuentra en una etapa temprana, y no se encuentra aún como una opción común en la construcción de carreteras, esto se debe posiblemente, al incremento del costo de la mezcla por el precio de los polímeros y en algunos casos a condiciones de manufactura, pues la incorporación de los polímeros o inertes requiere de energía mecánica en la operación de mezclado y los tanques de almacenamiento deben de contar con un sistema de calefacción apropiado.

Sin embargo, se pretende que este trabajo monográfico sirva de base para la investigación del efecto de las infinidades de polímeros modificadores que existen, y de su compatibilidad con el asfalto AC-30 utilizado en nuestro país, lo que conllevará al desarrollo de materiales de alto desempeño ante las solicitudes que enfrentan los pavimentos, generando carreteras más durables y económicas en el ciclo de vida del proyecto.

## **Justificación**

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, es de suma importancia verificar las propiedades, clasificación y especificaciones asociadas al uso de cada uno de los materiales empleados, sobre todo del cemento asfáltico, que representa el insumo más utilizado en nuestro país en la construcción de nuevas carreteras y en las actividades de conservación vial.

La realización de estudios de esta índole es fundamental para mejorar la práctica de diseño y construcción de carreteras de concreto asfáltico en el país y, en consecuencia, para contribuir al desarrollo económico por medio de los ahorros posibles debido al mejor desempeño de los pavimentos. Sobra decir que en Nicaragua no existen investigaciones sistemáticas sobre temas como estos.

Los resultados obtenidos permitirán a las empresas involucradas en el diseño y construcción de pavimentos tener más opciones a la hora de escoger un material que se adecue a las solicitudes y particularidades del proyecto (condiciones de tránsito, clima de la zona, etc.) sobre todo cuando las propiedades del asfalto convencional resulten insuficientes. Así mismo este estudio sentará un precedente para estudiantes, profesionales y empresas, sobre la metodología de análisis de mezclas asfálticas modificadas atendiendo a la gran variedad de polímeros que se encuentran en el mercado.

Así mismo los beneficiarios principales de este trabajo de investigación corresponden a estudiantes y profesionales que deseen documentarse sobre esta tecnología de implementación reciente en nuestro país, atendiendo al déficit de bibliografía disponible respecto a este tema.

Debido a que esta investigación podría actuar como un canal de difusión de los beneficios de la incorporación de polímeros al asfalto, lo que se traducirá

en mayor implementación de esta tecnología y por ende incremento de la venta de estos materiales, esto representa un gran beneficio para las empresas distribuidoras de productos poliméricos y asfaltos modificados en Nicaragua

No se debe descartar que los resultados obtenidos sirvan al ministerio de transporte e Infraestructura MTI, para elaborar especificaciones sobre el uso de estos materiales a fin de que sean incorporadas a las “Especificaciones generales para calles, caminos y puentes” NIC 2000

Pues el largo camino por recorrer de nuestro país en términos de infraestructura vial, ya que el 70% de nuestras vías carecen de pavimentos o revestimiento, según datos de la publicación Red Vial Nacional 2016 del MTI, no debe conducirnos únicamente a elevar las carreteras pavimentadas en número, sino más bien nos debe incentivar a mejorar la calidad de estas, aumentando su vida útil, haciéndolas más seguras y confortables, y esto solo se puede lograr a través de la implementación de tecnología de vanguardia, utilizando materiales más resistentes, e implementando métodos constructivos adecuados, pero sobre todo fortaleciendo los hábitos de investigación y experimentación.

Este estudio representa el compromiso de los estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería para contribuir a mejorar la calidad de vida de la población Nicaragüense a través de pequeños esfuerzos que contribuyan al desarrollo científico, económico y social del país.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar el desempeño de mezclas con asfalto Modificado en relación a mezclas con asfalto convencional.

### **Objetivos Específicos**

Caracterizar los materiales e insumos disponibles en Managua para el diseño de mezclas asfálticas.

Efectuar modificaciones al Asfalto AC-30, incorporando polímeros SBS y Elvaloy.

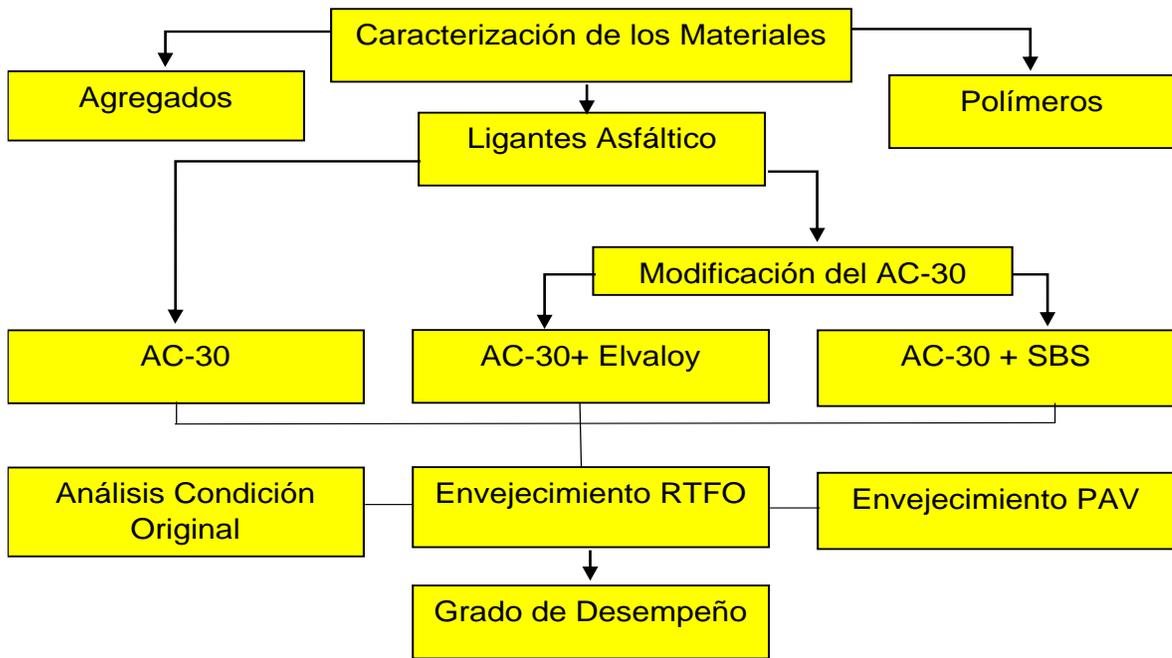
Contrastar las propiedades reológicas del asfalto convencional con los asfaltos modificados.

Diseñar Mezcla Asfáltica Convencional y Modificada utilizando el método Marshall

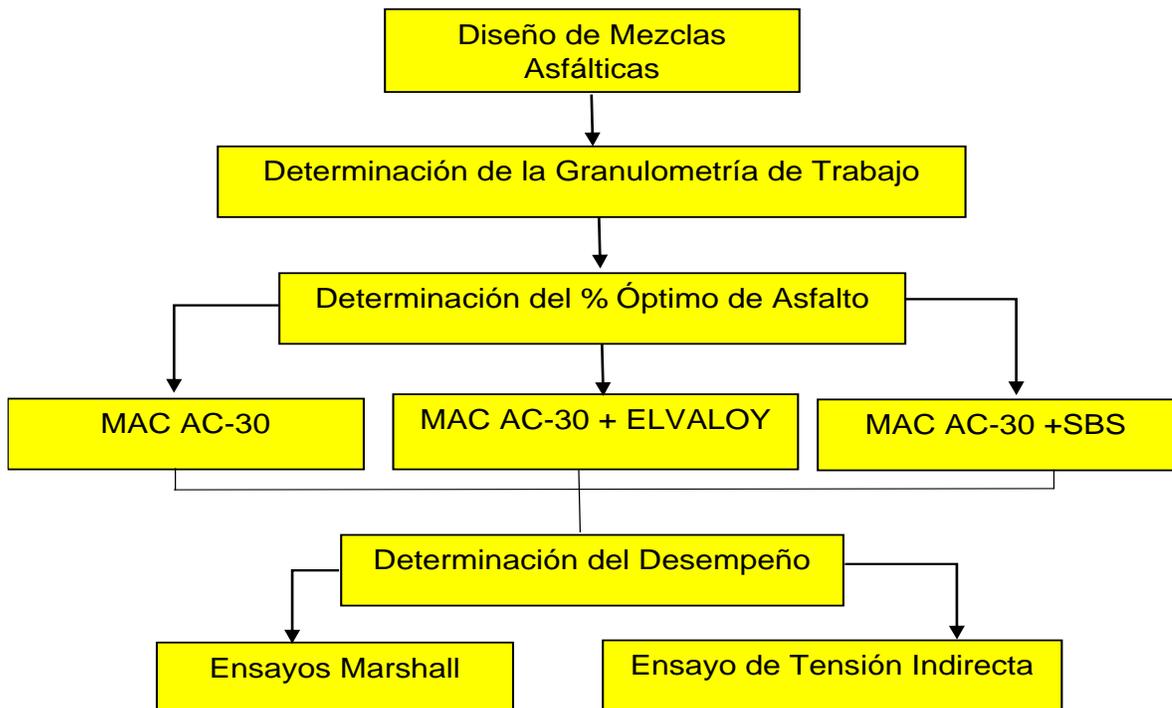
Ensayar las mezclas asfálticas modificadas, de acuerdo a la normativa vigente.

## Diseño Metodológico

### Primera Etapa



### Segunda Etapa



## CAPÍTULO 2. Agregados

---

### 2.1 Generalidades

Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante. En el concreto asfáltico, por ejemplo el volumen de los agregados constituye del 92% al 96%. Por lo anterior el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas cobra especial importancia para su adecuada y eficiente utilización.

Antes de empezar a estudiarlos es conveniente definir algunos términos utilizados para referirse a los agregados para mezclas asfálticas:

- **Agregado o árido:** conjunto de materiales de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inertes, usados en la construcción de obras civiles.
- **Agregado grueso o grava:** material retenido en el tamiz No. 4, con un tamaño entre 90mm y 4.76 mm.
- **Agregado fino o arena:** Es el agregado que pasa el tamiz de 9.5mm (3/8") y casi enteramente pasa el tamiz N°4. Consistirá en arena natural, o agregado fino manufacturado proveniente de piedra triturada, escoria de alto horno triturada, grava triturada entre otras.
- **Relleno mineral o filler:** son partículas pasantes del tamiz No. 200 con tamaños entre 0.074 mm y 0.002 mm.

### 2.2 Obtención de los agregados

Los agregados naturales provienen de las rocas y se obtienen por un proceso de fragmentación natural como el intemperismo y la abrasión o mediante

un proceso físico mecánico hecho por el hombre; en ambos casos conservan las propiedades físicas: densidad, porosidad, textura, resistencia al intemperismo y composición mineralógica de la roca madre.

Los agregados empleados en la construcción pueden obtenerse por la explotación de bancos de material, depósitos de rocas que afloran en la superficie terrestre, o por extracción y clasificación del material que arrastran los ríos. No se debe olvidar que las características y condiciones de calidad se aplican por igual a ambos materiales.

## **2.3 Clasificación de los agregados**

La procedencia, el tamaño y la densidad son entre otras muchas, algunas de las formas de clasificar los agregados.

### **2.3.1 Clasificación según su procedencia**

En primera instancia los agregados según su procedencia se clasifican en naturales y artificiales.

#### **2.3.1.1 Agregados naturales**

Proviene de la explotación de canteras o son producto del arrastre de los ríos. Según la forma de obtenerse los podemos clasificar como Material de cantera y Material de río. Conviene hacer la distinción porque el material de río al sufrir los efectos de arrastre, adquiere una textura lisa y una forma redondeada que lo diferencian del material de cantera que por el proceso de explotación tiene superficie rugosa y forma angulosa. Como veremos más adelante la forma y la textura les dan ventajas y desventajas al emplearse como agregados del concreto hidráulico o asfáltico.

El material que se obtiene como producto de la trituración de los sobretamaños del material de río, adquiere las características físicas del material de cantera por el proceso de trituración pero conserva las cualidades mecánicas, propias como resistencia al desgaste y al intemperismo, que tenía el material de río que le dio origen.

### 2.3.1.2 Agregados artificiales

Estos agregados se obtienen a partir de productos y procesos industriales, tales como arcillas expandidas, escorias de altos hornos, limaduras de hierro, etc.

### 2.3.2 Clasificación según su tamaño

La tabla 1 muestra la clasificación de los agregados según su tamaño.

**Tabla 1. Clasificación según su tamaño**

Tamaño de la Partícula	Denominación Corriente	Clasificación
Retenido en el tamiz N°4 Superior a 152.4 mm (6") Entre 152.4 mm y 50.8mm (6" y 2") Entre 50.8mm y 19.1mm (2" y 3/4") Entre 19.1mm y 4.76mm (3/4" y N°4)	Piedra Bolón Piedra Grava Gravilla	Agregado Grueso
Pasante del tamiz N°4 y retenido en el N° 200 Entre 4.76mm y 0.074mm	Arena	Agregado Fino
Pasante del Tamiz N° 200 Entre 0.074mm y 0.002mm Inferior a 0.002 mm	Limo Arcilla	Fracción fina o finos

**Fuente:** El concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, Libia Gutiérrez de López

### **2.3.3 Clasificación según su densidad**

Otra forma de clasificar los agregados es según su densidad, es decir la masa por unidad de volumen, incluyendo el volumen de sus vacíos; la importancia de esta clasificación radica en el peso final del producto cuando se emplean estos agregados, por ejemplo, el concreto ligero. Según su densidad los agregados se clasifican en:

Ligeros: su densidad está entre 480-1040 kg/m<sup>3</sup>, por ejemplo: piedra pómez.

De peso normal: entre 1300 y 1600 kg/m<sup>3</sup>, por ejemplo material de río.

## **2.4 Propiedades de los Agregados**

### **2.4.1 Propiedades Físicas**

#### **2.4.1.1 Granulometría**

La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices estándar, dispuestos de mayor a menor.

### **Curvas granulométricas**

Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices.

Una curva tendida indica un material bien gradado o con todos los tamaños y corresponde a una gradación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado. En cambio una curva casi vertical indica un material mal gradado, en el que predominan solo unos pocos tamaños y corresponde a una gradación abierta donde aumentan los espacios vacíos.

### **Parámetros que se obtienen del análisis granulométrico**

Además de determinar la distribución de los tamaños y la ausencia o exceso de los mismos dentro de una masa de agregados, de un análisis granulométrico se pueden sacar valores que luego son usados como parámetros en los diseños o como factores de calidad, ellos son:

#### **Tamaño Máximo**

Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra, indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

#### **Tamaño Máximo Nominal**

Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado.

Por lo general, un análisis granulométrico, el tamaño máximo y el máximo nominal no coinciden. Por lo tanto, en las especificaciones debe indicarse claramente de cuál de los dos se trata.

#### **Porcentaje de Finos**

Se define como el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 (0.074 mm).

### 2.4.1.2 Formas de las partículas del agregado

Para determinar la forma de las partículas en los agregados es necesario definir:

#### **Redondez**

Se aplica a la forma del filo; si la partícula tiene aristas bien definidas se dice que es angular, si por el contrario sus aristas están gastadas por la erosión o el rozamiento del agua se habla de partículas redondeadas.

#### **Esfericidad**

Es función de la relación entre área superficial y volumen. Esta relación es menor en partículas esféricas incrementándose en partículas planas y alargadas, según la esfericidad las partículas pueden ser esféricas, cúbicas, tetraédricas, laminares y alargadas. La forma de las partículas se indica con dos términos, aduciendo a su redondez y a su esfericidad: Por ejemplo cúbica redondeada o cúbica angular.

En general las gravas de río, glaciares, y conglomerados, así como las arenas de playa o desierto son materiales redondeados, y pueden ser esféricos (cantos rodados) y laminares. En cambio los agregados obtenidos por trituración y los provenientes de suelos residuales son angulares y su forma depende de la naturaleza de la roca y del equipo de trituración; así serán cúbicos, tetraédricos, laminares y alargados.

#### **Partícula alargada**

Es aquella cuya relación entre longitud y anchura es mayor de 1.5 es decir:

$$\frac{L}{b} > 1.5 ;$$

*donde: L = Longitud de la partícula, b = ancho de la partícula*

## **Partícula plana**

Es aquella cuya relación entre el espesor y el ancho es menor de 0.5, es decir:

$$\frac{d}{b} < 0.5;$$

*donde: d = espesor de la partícula, b = ancho de la partícula*

### **2.4.1.3 Textura**

Esta propiedad del agregado se deriva indirectamente de la roca madre y es responsable de la adherencia del agregado y de la fluidez de las mezclas de concreto. Según la textura superficial podemos decir que el agregado es liso o pulido (material de río) o áspero (material triturado). Esta textura está relacionada con la dureza, forma, tamaño y estructura de la roca original.

### **2.4.1.4 Densidad**

Esta propiedad depende directamente de la roca que dio origen al agregado. La densidad se define como la relación de peso a volumen de una masa determinada. Pero como las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según la permeabilidad interna, es necesario hacer diferenciación entre los distintos tipos de densidad.

#### **Densidad absoluta**

Es la relación entre el peso de la masa de agregado y el volumen que ocupan solo sus partículas sólidas.

$$DA = \frac{PS}{V_m - V_v};$$

*PS = Peso del material seco, V<sub>m</sub> = volumen de la masa, V<sub>v</sub> = volumen de vacíos*

### Densidad nominal

Es la relación que existe entre el peso de la masa del agregado y el volumen que ocupan las partículas del material incluidos los poros no saturables.

$$DN = \frac{PS}{V_m - V_{vs}};$$

*PS = Peso del material seco,  $V_m$  = volumen de la masa,*

*$V_v$  = volumen de poros saturables*

### Densidad aparente

Está definida por la relación entre el peso y el volumen de las partículas de ese material incluidos todos los poros, saturables y no saturables.

$$DN = \frac{PS}{V_m};$$

*PS = Peso del material seco,  $V_m$  = volumen de la masa*

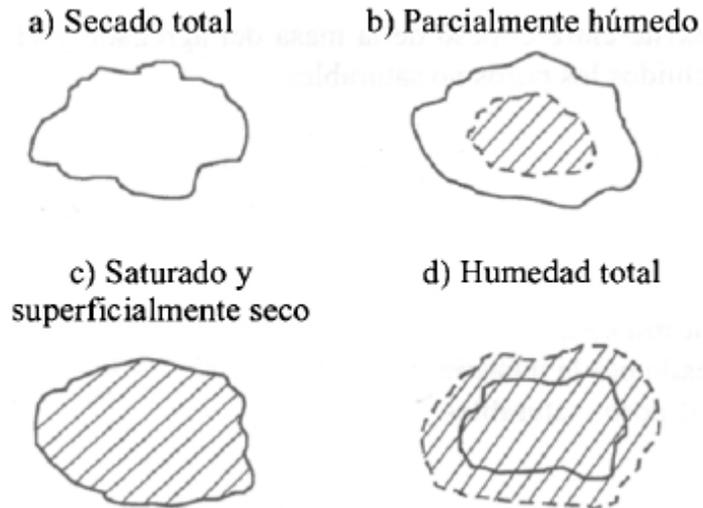
La densidad aparente del agregado depende de su composición mineralógica y de la cantidad de poros que tenga. Por lo general el valor de la densidad aparente está entre 2.30 g/cm<sup>3</sup> y 2.8 g/cm<sup>3</sup>.

#### 2.4.1.5 Porosidad y absorción

La porosidad del agregado es una cualidad muy importante, directamente relacionada con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas, así como a su comportamiento frente a problemas de congelamiento, deshielo e intemperismo.

La porosidad está asociada a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que tienen los agregados, capacidad que depende del número y tamaño de los poros y de la continuidad de los mismos. Según su contenido de humedad, las partículas que conforman un agregado pueden estar en los siguientes estados que muestra la figura 1

**Figura 1. Diferentes estados de saturación del agregado**



**Fuente:** El concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, Libia Gutiérrez de López

En el caso 1, el material está seco, es decir, no tiene ni agua de absorción ni agua libre, solo tiene el agua de constitución mineralógica, estado que se obtiene sólo cuando el material ha estado en el horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas o hasta que tenga peso constante.

En el caso 2 el material tiene alguna humedad, es decir los poros tienen agua absorbida; es el caso del material al medio ambiente.

En el caso 3 el material tiene todos los poros saturados pero está superficialmente seco. Este estado se logra cuando el material ha sido sumergido mínimo 24 horas y se seca superficialmente.

En el caso 4, el material está saturado y posee agua libre que da a las partículas una película brillante.

$$\%Absorción = \frac{P_{sss} - P_s}{P_s} * 100;$$

*P<sub>sss</sub>* = Peso saturado superficialmente seco, *P<sub>s</sub>* = Peso seco

#### **2.4.1.6 Masa unitaria o peso unitario**

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el mayor peso unitario se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado.

Existen dos tipos de masa unitaria a saber:

##### **Peso unitario compactado**

Se define como el peso compactado del material dividido entre el volumen que ocupa. El valor de la masa unitaria compactada se utiliza para determinar el volumen absoluto de agregado grueso en las mezclas de concreto.

##### **Peso unitario suelto**

Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa. El peso unitario suelto es menor que el peso unitario compactado porque el material en estado suelto ocupa un volumen mayor.

En el manejo del material se debe tener en cuenta el peso unitario suelto por cuanto el transporte se hace en volumen y en estado suelto, y por lo tanto el volumen del agregado para transportar y almacenar siempre es mayor que el volumen del material colocado y compactado en la obra.

## 2.4.2 Propiedades Mecánicas

### 2.4.2.1 Resistencia

Al emplear los agregados en obras de ingeniería, la resistencia de éstas, se relaciona directamente con la resistencia del agregado, resistencia estrechamente relacionada con la estructura de los granos de la partícula, o con el proceso de trituración y explotación; algunos procedimientos inadecuados induce previamente fallas en las partículas.

Como se dijo anteriormente la resistencia de la roca madre se comunica al agregado, aunque debe darse especial cuidado al hecho de que los procesos de explotación y triturado pueden disminuirla.

**Tabla 2: Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de algunas rocas.**

Roca	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad kg/cm <sup>2</sup> x 10 <sup>5</sup>
Gabro	150 - 300	6 - 11
Granito	70 - 250	3 - 7
Basalto	100 - 300	2 - 10
Diabasa	60 - 130	3 - 9
Dolomita	150 - 250	2 - 8.4
Caliza	10 - 70	1 - 8.6
Arenisca	20	0.5 - 8.6
Lutita	20 - 90	0.8 - 3.0
Gnesis	40 - 70	2 - 6
Mármol	50 - 80	6 - 9
Cuarcita	30 - 50	2.5 - 10
Esquisto	70 - 200	4 - 7

**Fuente:** El concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, Libia Gutiérrez de López

#### **2.4.2.2 Tenacidad**

La tenacidad es la resistencia que ofrece el agregado al impacto, y tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles al impacto pueden alterar su granulometría y por consiguiente la calidad de la obra.

#### **2.4.2.3 Adherencia**

En el concreto asfáltico la adherencia del agregado es una característica importante, porque la resistencia y durabilidad de estos concretos depende en gran parte del poder de aglutinamiento del agregado con el ligante asfáltico. La adherencia del agregado depende de la forma, textura y tamaño de las partículas.

#### **2.4.2.4 Dureza**

Es la resistencia que ofrece el agregado a la acción del roce y al desgaste diario. Los agregados empleados en carreteras, y pisos, deben ser especialmente resistentes al desgaste. Para determinar esta propiedad se emplea el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles. La dureza del agregado depende de su constitución mineralógica y de su procedencia.

#### **2.4.2.5 Sanidad de los agregados**

La sanidad de los agregados se refiere a su capacidad para soportar cambios excesivos de volumen por la acción del intemperismo. La capacidad del agregado para soportar los cambios de condiciones ambientales depende de su procedencia, granulometría, forma, textura y porosidad.

Una baja resistencia del agregado al intemperismo compromete la durabilidad de la obra, que no sólo afecta su aspecto superficial (descascamiento) sino su estabilidad por agrietamientos internos.

#### 2.4.2.6 Presencia de Sustancias Perjudiciales

##### Contenido de materia orgánica

La materia orgánica es producto de la descomposición de los vegetales y sustancias carbonosas, cuya composición química es ácido tánico y sus derivados conocidos con el nombre de humus. La presencia de otras partículas como terrones de arcilla, carbón, madera, lignito, mica, pueden disminuir la resistencia del concreto asfáltico, o poner en peligro su durabilidad.

#### 2.5 Caracterización de agregados

Los agregados utilizados en esta investigación son extraídos en el banco “El Portillo” y que son triturados en la planta de áridos de la empresa **Proinco**. Para el proyecto se estableció como requisito el uso de la granulometría establecida en la columna D-5 de la tabla 1 del ASTM D-3515

Los controles y ensayos realizados a los agregados para los fines de esta investigación son:

- a) Muestreo
- b) Cuarteo
- c) Granulometría
- d) Peso unitario
- e) Caras fracturadas
- f) Partículas planas y alargadas
- g) Resistencia al desgaste y abrasión
- h) Sanidad del agregado
- i) Durabilidad
- j) Índice de plasticidad
- k) Equivalente de arena
- l) Determinación de las impurezas orgánicas
- m) Gravedad Específica y Absorción

### **Muestreo (ASTM D 140 AASHTO T40-78):**

Se realiza con el fin de extraer y preparar una muestra representativa del material. De no realizar esta operación correctamente, los ensayos entregados no serán confiables. Se tiene en cuenta los ensayos previstos a realizar, para tomar al menos el doble de material requerido

### **Cuarteo (ASTM C702):**

El cuarteo se realiza con el fin de reducir la muestra hasta el tamaño requerido para cada ensaye. El procedimiento puede ser realizado en forma manual o mecánica, utilizando un cuarteador.

Para efectos de esta investigación se realizó cuarteo manual que consiste en:

- Homogeneizar
- Formar pila en forma de cono
- Aplanar (para evitar mayor segregación)
- Dividir en cuatro partes
- Extraer dos cuartos opuestos y repetir hasta obtener la cantidad requerida para los ensayos (dependiendo del ensayo, es el volumen a utilizar).



**Figura 2: Realizando la operación de cuarteo,  
(Fuente: Autores, Lugar: Laboratorio PAVINIC S.A.)**

## **Granulometría de los agregados AASHTO T-27 y ASTM C-136**

El agregado grueso utilizado para efectos de este trabajo posee tamaño máximo de 19.0mm (3/4”) mientras que el agregado fino posee tamaño máximo de 9.5 mm (3/8”). El tamaño de la muestra seca de material fino para el ensayo debe ser mayor a 300 gr, mientras que para el agregado grueso el numeral 7.4 del AASHTO T-27 establece que el tamaño mínimo debe ser de 2 kg.

### **Objetivos del Ensayo**

Comparar áridos entre sí y conocer la variación de un mismo árido.

Conocer si el árido cumple con una banda determinada que asegure buena calidad.



**Figura 3: Proceso de tamizado para determinación de Granulometría de Agregados, (fuente: autores, Laboratorio de INSUMA)**

### **Peso Unitario:**

Es la relación de la masa entre el volumen de agregado, se determina en condición seca suelta y seca compacta.

### **Caras Fracturadas (ASTM D- 5821):**

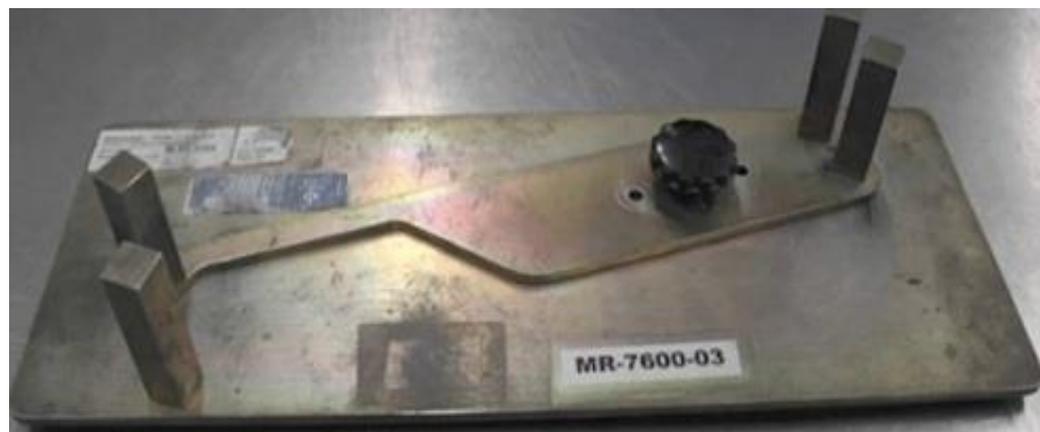
Este ensayo se realiza para determinar por masa o por conteo, el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso. Una partícula fracturada es aquella partícula de agregado que tiene al menos una o dos caras fracturadas.

Las caras fracturadas son aquellas superficies rugosas, creadas por ruptura, sea por métodos naturales o artificiales, estas caras generan mayor trabazón entre áridos y repercute en mayor estabilidad y mayor resistencia al corte en la mezcla.

### **Partículas Planas y alargadas (ASTM D- 4791):**

Se realiza para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas, las cuales para algunos usos de construcción, pueden interferir en la consolidación, produciendo mezclas difíciles de colocar.

Para realizar este ensayo se utiliza el dispositivo de calibración proporcional, el cual consiste en una placa base con 2 postes fijos y un brazo oscilante montado entre ellos, para que las aberturas entre los brazos y los postes mantengan una relación constante, ver figura 4.



**Figura 4: Calibrador proporcional, (Fuente: Autores, Laboratorio Insuma)**

### **Resistencia al desgaste y abrasión (ASTM C 131 AASHTO T96-99)**

Para realizarla se utiliza la Maquina de los Ángeles que consiste en un cilindro cerrado de acero de espesor no menor de 12.4mm y que puede girar a un número de revoluciones definidas.

Además se utilizan esferas de acero de aproximadamente 46.8mm de diámetro y masa entre 390 y 445gr. El número de esferas a usar y el tamaño de la muestra, dependen de la composición granulométrica del agregado a ensayar, por lo que es necesario hacer una granulometría previa con el fin de determinar la gradación del ensayo que mejor represente al agregado.

### **Sanidad del agregado (AASHTO T-104):**

Consiste en someter los agregados separados por tamaños a la saturación en una solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio y después a un secado en el horno. Estas acciones constituyen uno de cinco ciclos a efectuar; al finalizar el último ciclo se elimina el sulfato y, seco el material, se procede a hacer análisis cualitativo y cuantitativo para determinar el porcentaje del agregado no desgastado por la acción del sulfato.

### **Durabilidad del agregado (AASHTO T-210):**

El índice de durabilidad es un valor indicativo de la resistencia relativa de un agregado para producir partículas finas perjudiciales de tipo arcilloso, cuando se somete el agregado a métodos mecánicos de degradación. Este ensayo provee valores empíricos que permiten evaluar de forma rápida la calidad del agregado.

### **Índice de Plasticidad (ASTM D- 4318):**

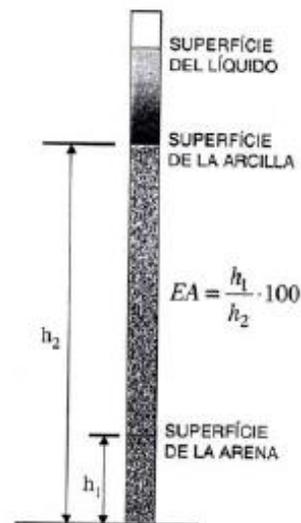
Es el rango de humedades para el cual un suelo se comporta en estado plástico. Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Este ensayo se realiza para el material que pasa el tamiz N° 40.

### Impurezas Orgánicas (AASHTO T- 21):

Representa un procedimiento para la determinación aproximada del contenido de impurezas orgánicas en el agregado fino. Para determinar el contenido de materia orgánica de las arenas, se ejecuta un ensayo cualitativo, comparando la coloración que produce la muestra de arena al agregarle una solución de hidróxido de sodio al 3%, con una tabla de colores cuyo resultado es un número que indica el color de referencia.

### Equivalente de arena (ASTM D 2419 AASHTO T176-00)

Expresa el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y en general partículas indeseables de arcilla, o finos plásticos y polvo. Es una medida de la cantidad de limo o arcilla en el agregado fino.



**Figura 5: Esquema del Ensayo Equivalente de arena**  
(Fuente: Materiales Básicos, Alejandro Padilla Rodríguez)

### Gravedad Específica y Absorción de los agregados

Se realiza de acuerdo a la normativa establecida en ASTM C 127, C128 y AASHTO T-84, T-85)

## 2.5.1 Especificaciones Generales para agregados NIC 2000

### Sección 1003.10 Agregados para Concreto Asfáltico en Caliente.-

#### (a) Agregado Grueso (retenido en el tamiz de 4.75 mm).

Suministrar partículas o fragmentos de piedra, escoria o grava triturada, dura y durable que cumplan con lo siguiente:

- (1) Desgaste Los Ángeles, AASHTO.....40% máx.
- (2) Pérdida en Prueba de Sulfato de Sodio (5 ciclos) AASHTO T 104.....12% máx.
- (3) Caras fracturadas, FLH T 507.....75% mín.
- (4) Índice de durabilidad (grueso) AASHTO T 210.....35% mín.

Para la capa superficial, no usar agregados que se pulan o agregados carbonados que contengan menos del 25% en peso de residuo insoluble cuando se le ensaya de acuerdo con ASTM D 3042.

#### (b) Agregado Fino (que pasa el tamiz de 4.75 mm).

Suministrar arena natural, cribados de piedra, de escoria o una combinación de éstos, que cumplan con AASHTO M 29 incluyendo la prueba del sulfato y lo siguiente:

- (1) Índice de durabilidad (fino) AASHTO T 210.....35% mín.
- (2) Valor del equivalente de arena AASHTO T 176, método de testigo..... 45 mín.

## CAPÍTULO 3. Asfalto, Polímeros y su uso en la modificación del asfalto

---

### 3.1 El Asfalto

#### 3.1.1 Introducción

El asfalto, es sin lugar a dudas, el material más versátil y universal por el gran número de aplicaciones que permiten dar solución a buena cantidad de problemas en la construcción.

Los arqueólogos han determinado que las civilizaciones asentadas a lo largo del río Éufrates, usaban el asfalto como material aglutinante en sus construcciones hace 5,800 años. Los egipcios, en el año 2500 A.C, también usaron el asfalto, lo extraían de depósitos naturales; en la actualidad la mayor cantidad de asfalto utilizado es producto de la destilación fraccionada del petróleo.

El asfalto tiene particular interés porque es un material fuertemente cementante, altamente adhesivo, impermeable y durable. Es una sustancia termoplástica que proporciona flexibilidad controlable a las mezclas de agregados con las cuales se combina. Se utiliza actualmente en la construcción de pavimentos, para cumplir funciones aglomerantes, impermeabilizantes y estabilizadoras.

La estructura de los pavimentos flexibles está conformada por subrasante, sub-base, base y capa de rodadura, que requiere, el uso de material asfáltico para proteger las capas inferiores impermeabilizando la superficie e impidiendo la circulación de aguas lluvias a través de ella; conservar los agregados en el lugar donde se colocan, ya que los cementa, limitando el desplazamiento de las partículas por los vehículos o por los agentes externos; incrementar la capacidad

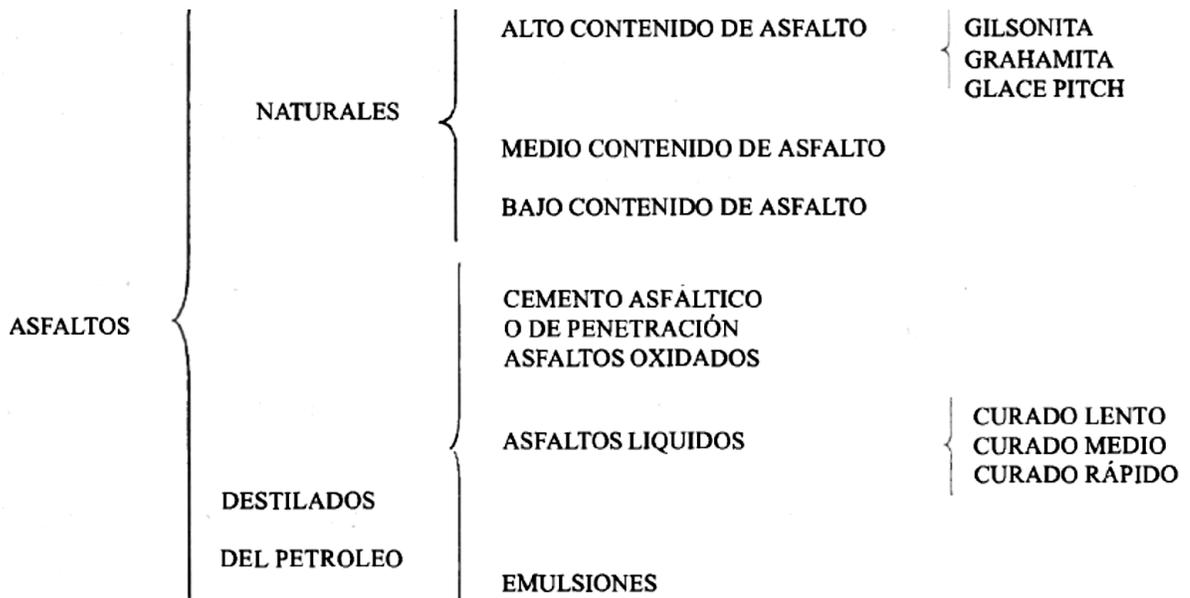
de soporte de la capa de rodadura; eliminar las molestias del polvo. Todo lo cual en su conjunto proporciona una superficie cómoda y durable a los usuarios de la vía.

### Definición

El asfalto es un material aglomerante sólido o semisólido de color oscuro, que se ablanda gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son hidrocarburos pesados, que se obtienen de la refinación del petróleo.

Este ha sido utilizado con éxito en la pavimentación de vías debido principalmente a que es un material altamente cementante, termoplástico, repelente al agua y resistente al ataque de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales, que posee alta elasticidad a altas temperaturas, suficiente ductilidad a bajas temperaturas y baja susceptibilidad al cambio de temperaturas.

### 3.1.2 Clasificación de los Asfaltos



**Figura 6: Esquema de clasificación de los Asfaltos**

**Fuente:** El concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, Libia Gutiérrez de López

### **3.1.2.1 Asfaltos Naturales o asfaltitas**

El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución. Por procesos de destilación se separan los diferentes hidrocarburos presentes en el petróleo y se recupera el asfalto como producto residual. Cuando este proceso se efectúa en forma natural, da origen a los diferentes yacimientos naturales de asfalto.

Por acciones volcánicas en la profundidad, el efecto de contacto y el calor expedido por masas ígneas, se produce la expulsión de las sustancias bituminosas de los estratos inferiores, sustancias que suben en forma de gases aprovechando las grietas, fallas y planos de debilidad de las rocas y se condensan y acumulan en las capas más superficiales en forma de bitumen líquido (petróleo crudo), el cual, después de un largo período de oxidación se convierte en asfalto.

Este procedimiento conlleva a que el bitumen se mezcle con los materiales que se encuentren en la zona en el momento en que el fluido mana del fondo de la tierra, contaminándose con sustancias extrañas o mezclándose con partículas minerales y agua.

#### **Clasificación**

Existe una gran variedad de depósitos de asfalto natural, aunque se pueden separar en tres grandes grupos:

#### **Asfaltos con alto contenido de bitumen**

Dentro de este grupo están clasificados los asfaltos sólidos o asfaltitas. Poseen un contenido de bitumen mayor del 80%, se encuentran en forma de vetas y bolsas que atraviesan generalmente estratos del cretáceo con espesores de

pocos centímetros hasta varios metros, contienen pocas impurezas o materia orgánica insoluble, y presentan un alto contenido de asfáltenos.

Sus puntos de ablandamiento son altos, mayores de 132°C. Los solventes son muy escasos debido, tal vez a su formación metamórfica; gracias a las grandes presiones y temperaturas, la pérdida de éstos es casi total. Según sus características físicas se agrupan en tres tipos:

- 1. Gilsonita:** Es uno de los asfaltos nativos de mayor pureza; posee baja gravedad específica, bajo carbón fijo y bajo contenido de azufre.
- 2. Grahamita:** Presenta un alto contenido de carbón fijo; al aplicarle calor se hincha pero no se funde. Su color en polvo es más negro que las demás asfaltitas.
- 3. Glace Pitch:** Es un intermedio entre la gilsonita y la grahamita. Tienen un punto de fusión y gravedad específica más altos.

### **Asfaltos con medio contenido de bitumen**

Generalmente se presentan como un depósito de afloramiento, de unos pocos metros cuadrados o en extensiones que abarcan varias hectáreas (Lagos de asfalto). Contienen bitumen en proporción del 15% al 80% y se encuentran asociados con materiales pétreos tipo gravas, arcillas, arenas y materia orgánica.

### **Asfaltos con bajo contenido de bitumen**

Áridos (rocas y suelos) asociados con proporciones reducidas de productos bituminosos (Rocas asfálticas). Estos depósitos normalmente consisten en vetas, bolsas o impregnaciones de estratos, por lo general areniscas, con espesores de pocos centímetros hasta varios metros. Con menos frecuencia se han encontrado asociados con pizarras y lutitas algo calcáreas o en intercalación de depósitos de calcita. La proporción de bitumen es menor que la existente en un lago de asfalto y generalmente varía entre el 3% y el 15%, aunque puede llegar hasta el 40%.

### **3.1.2.2 Asfaltos destilados del petróleo**

Casi todos los asfaltos que se producen y utilizan actualmente proceden de la refinación del petróleo. El asfalto derivado del petróleo es llamado algunas veces asfalto residual (residuo de la destilación del petróleo) para distinguirlo de los asfaltos naturales.

Hoy en día, es necesario tener un amplio conocimiento de la constitución química del crudo del petróleo, ya que ésta regirá las propiedades químicas del asfalto, conocimiento que será de gran ayuda en el control de la función que va a cumplir en la vía.

Para muchos técnicos parece ser innecesario el estudio de la composición química de los materiales, y sólo hacen referencia a sus propiedades físicas y mecánicas más directamente relacionadas con su aplicación directa. Se ha demostrado a través de los años, que los diferentes problemas que se presentan durante el diseño y la construcción de la estructura de un pavimento se debe principalmente al desconocimiento de sus propiedades químicas. Para lograr un manejo óptimo de cualquier material se hace necesario que se le conozca completamente mediante el estudio de todas y cada una de sus propiedades.

### **3.1.3 Propiedades físicas del asfalto de pavimentación**

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son:

#### **Durabilidad:**

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

### **Adhesión:**

Se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

### **Cohesión**

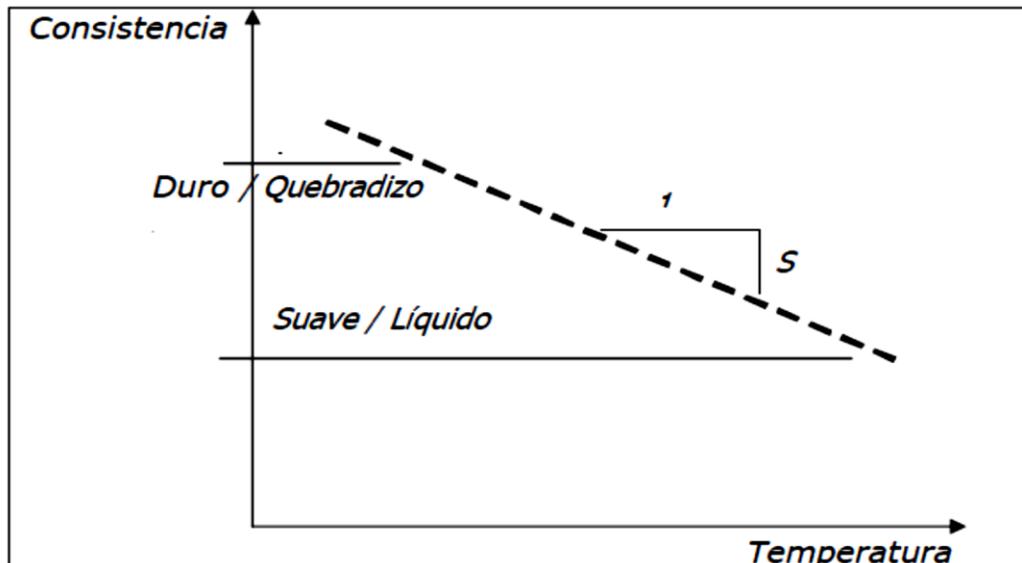
Es la capacidad del asfalto de mantener firmes las partículas del agregado en el pavimento terminado.

### **Susceptibilidad a la temperatura:**

El asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura.

La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia. Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que estas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

La figura 7 muestra como el asfalto cambia de consistencia conforme cambia de temperatura, a este cambio se le conoce como susceptibilidad térmica y es la pendiente de la recta (S).



**Figura 7. Comportamiento del asfalto (Consistencia vs. Temperatura)**

**Fuente:** Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Instituto del Asfalto.

### **Endurecimiento y envejecimiento:**

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas, mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa. No todos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento y así ajustar las técnicas

constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene en el pavimento terminado, una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas del agregado.

**Pureza:**

El cemento asfáltico está constituido en su mayor parte por bitumen, el cual es por definición un material totalmente soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99.5% de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbono y si contienen impurezas estas son inertes.

Normalmente el cemento asfáltico carece de agua, ya que esta fue pérdida durante el proceso de refinación. Cuando no pierde toda el agua se vuelve espumoso al ser calentado a temperaturas superiores a 100°C (212°F). La pureza de un cemento asfáltico está definida por su carencia de humedad, así como de cualquier impureza.

## 3.2 Polímeros

### 3.2.1 Definición:

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas. Son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se les añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

### 3.2.2 Clasificación de los polímeros

Los polímeros pueden ser clasificados por su comportamiento mecánico en:

**Plásticos:** son materiales poliméricos sólidos a temperatura ambiente. Existen dos tipos:

- Termoplásticos
- Termorígidos: a este grupo pertenecen los elastómeros.

**Elastómeros:** son deformables a temperatura ambiente, al aplicarle un esfuerzo son comprimibles, pero recobran su forma original al ser retirado este. La flexibilidad de los elastómeros se debe a cadenas flexibles, las cuales se amarran unas con otras.

Entre las principales propiedades de los elastómeros se pueden mencionar:

- Aceptan grandes deformaciones, manteniendo su módulo de elasticidad y resistencia mecánica una vez deformados.
- Una vez retirado el esfuerzo, se recuperan totalmente de la deformación.

**Fibras:** en este grupo se encuentran el Nylon, poliéster, etc.

### 3.2.3 Principales modificadores utilizados en el asfalto

**Polímeros tipo I:** Es un copolímeros modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de las mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastomericos radiales de tipo dibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS), Estireno-Butadieno (SB), Elvaloy (EGA) entre otras. Se utiliza en mezclas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

**Polímeros Tipo II:** Es un copolímero modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno-Butadieno-Látex, se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

**Polímeros Tipo III:** Es un copolímero modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base de polímeros de tipo plastómeros, mediante configuraciones como Etil-vinil-Acetato (EVA), EE-2 de Eastman. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

### 3.2.4 Polímeros modificadores usados en esta investigación

Para fines de esta investigación se realizara la modificación del asfalto base AC-30 con 2 polímeros, SBS y Elvaloy, los cuales son copolímeros del tipo I.

**Elvaloy:** es un terpolímero elastomérico reactivo (RET, por sus siglas en inglés), especialmente formulado para la modificación de asfalto, para mezclas calientes y emulsiones modificadas. Tiene un excelente desempeño para alto tráfico, buenos resultados ante temperaturas extremas, alta resistencia al ahuellamiento y fatiga.



**Figura 8: Polímero Elvaloy (Fuente: Autores, material proporcionado por SOLTEC S.A)**

### **Descripción General (Ver ficha técnica Anexo D pág. XXI-XXII)**

El polímero Elvaloy se presenta en forma de perlas, a como lo muestra la figura 8

Posee una densidad de 0.94 gr/cm cúbico

Máxima temperatura de procesamiento 280°C

Las características del polímero se han tomado de la información proporcionada por el productor, resaltando que es un material diseñado especialmente para modificar el asfalto, que al mezclarlo reacciona químicamente favorable con los asfaltenos del asfalto, generando un sistema de ligas: polímero – asfalto.

Después de lograda la reacción, el Elvaloy® 5170 permanece unido con la molécula del asfálteno y no se separa; lo que determina que el asfalto final logre una estabilidad muy alta.

### **Ácido Polifosfórico: (Ver ficha técnica Anexo D pág. XXIII)**

Es un polímero inorgánico, obtenido por condensación de ácido mono fosfórico o por hidratación de óxido de fósforo P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; tiene 0% de agua libre; líquido viscoso altamente soluble en orgánicos; no es un oxidante.

Diversos estudios demuestran el impacto favorable de la combinación del ácido polifosfórico con polímeros sintéticos: éste permite reducir la proporción de polímero adicionado al ligante asfáltico, lo que provoca reducción de la viscosidad y proporciona propiedades reológicas tan adecuada.

### **Función catalizadora.**

Conceptualmente un catalizador es una sustancia química, simple o compuesta, que modifica la velocidad de una reacción química, interviniendo en ella pero sin llegar a formar parte de los productos resultantes de la misma. El ácido polifosfórico se emplea como catalizador en la modificación (catálisis) del

asfalto convencional con Elvaloy, aumentando la velocidad de tal proceso; por eso se dice que cumple el papel de catalizador positivo. Es un catalizador homogéneo que en el proceso de modificación, se combina con Elvaloy formando un compuesto intermedio que reacciona fácilmente con el asfalto y no influye en el equilibrio del asfalto modificado. Reacciona desarrollando un encadenamiento químico entre el polímero y el asfalto.

**SBS:** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base de bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno Butadieno Estireno (SBS). Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

#### **Descripción General (Ver ficha técnica Anexo D pág. XXIV)**

El polímero SBS, se presenta en forma de fibras, a como lo muestra la figura 9. Para la modificación con este polímero debe tenerse agitación ya sea mecánica o con bombas de recirculación. No se debe permitir que la temperatura de almacenaje exceda los 204°C.



**Figura 9 Polímero SBS (Fuente: Autores, material suministrado por SOLTEC S.A)**

### **3.3 Asfalto Modificado**

#### **3.3.1 Antecedentes**

La historia de la modificación de asfalto no es tan reciente como se podría pensar, de acuerdo al artículo de King y et al, en 1843 fueron concedidas patentes para modificar asfalto con polímeros naturales y sintéticos. Proyectos piloto se pusieron en marcha en Europa, a principios de los años treinta. En Norteamérica, polímeros fueron introducidos en los años cincuenta y encontraron un mercado pequeño pero constante. Al pasar de los años el uso de los polímeros aumento, especialmente después de la introducción y desarrollo de Autopistas (Strategic Highway Research Program, SHRP), a partir del cual se desarrollaron especificaciones de ligantes asfálticos Superpave Performance Graded (PG) a principios de los años noventa en los EE.UU, desde entonces se ha mostrado el interés en conocer el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, a través de pruebas de laboratorio.

#### **3.3.2 Definición**

Un asfalto modificado es el ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de los polímeros con el asfalto utilizado.

#### **3.3.3 Objetivo de la modificación de Asfalto**

El objetivo perseguido con la adición de polímeros al asfalto es el de mejorar su reología, buscando:

- Disminuir la susceptibilidad térmica. Disminuir la fragilidad en climas fríos y aumentar la cohesión en tiempos de calor.
- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Mejorar la adherencia a los agregados.

### 3.3.4 Consideraciones Generales para la Modificación de asfaltos.

Un asfalto puede modificarse de forma general con rellenos minerales, cauchos plásticos o hidrocarburos naturales. El grado de dispersión que se obtendrá por la incorporación de agregados al ligante, dependerá del tipo de polímero a utilizar, su concentración y su compatibilidad con el asfalto base. Entre otras condiciones a considerar durante el proceso de modificación se encuentra:

**La temperatura de disolución y mezclado:** juega un papel fundamental debido a que la clave de la incorporación del polímero será, su disolución en el asfalto siendo la forma más fácil, cuando este se encuentra en forma líquida.

**El esfuerzo de corte ejercido:** Los equipos de esfuerzo de corte cuentan con sistemas para control de velocidades y temperatura, de esta forma los polímeros se incorporan de la forma más eficiente, al realizarse una disminución gradual de partículas.

**Aromaticidad de la fase malténica en el asfalto base:** juega un papel muy importante en la viscosidad final del asfalto y al final en la producción de la mezcla.

**Fracción de asfaltos presentes:** La viscosidad y las propiedades reológicas de la mezcla final dependerán de las proporciones de disolución asfalto-polímero, y la fase en las que se encuentre.

#### **Técnicas para modificar Asfaltos.**

Cuando se añaden polímeros al asfalto, las propiedades del asfalto modificado dependen de los siguientes parámetros:

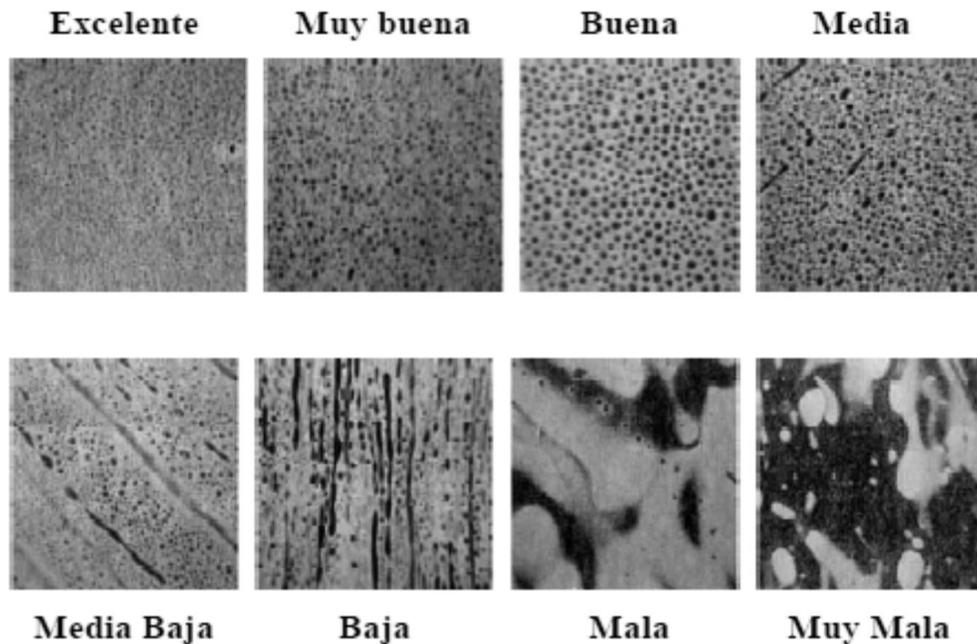
Tipo de polímero a emplearse ya sean elastómeros o plástomeros.

Su forma física.

Naturaleza y grado de asfalto.

Tipo de equipo.

Tiempo y temperatura durante el mezclado.  
La compatibilidad Asfalto - Polímero.



**Figura 10: Compatibilidad asfalto-polímero**

**Fuente:** Conferencia: Introducción a la Química del Asfalto por: Ing. German Garzón, Costa Rica, 2004

Para llevar a cabo la modificación de asfalto, se debe conocer la compatibilidad de este con el modificador para que coexistan como sistema, es decir debe ser miscible, lo que indica una mezcla monofásica. La inmiscibilidad se traduce en la aparición de una segunda fase. Un polímero es compatible con el asfalto cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar por un examen visual.

Los asfaltos más ricos en fracciones aromáticas y resinas serán los más compatibles, ya que estas fracciones son las que permiten que el polímero se disuelva. Los asfaltos menos compatibles son los más ricos en asfaltenos y saturados.

El proceso apropiado de modificación es variable de acuerdo al tipo de polímero, polímeros del tipo SBS requieren etapas de molienda y otros como el tipo EGA requieren solamente proceso de agitación. Se mencionan de manera general las etapas importantes del proceso de modificación.

#### **Para polímero SBS:**

Etapas 1. Evaluar el asfalto base.

Etapas 2. Incrementar la temperatura del asfalto.

Etapas 3. Proceso de molienda y/o homogeneización asfalto - polímero. Se requiere de un molido de alto corte.

Etapas 4. Controlar la calidad a través de microscopía óptica.

Etapas 5. Finalización de la reacción. Control de calidad realizando corrida de pruebas físicas para asfaltos modificados después de 24 horas de reacción.

Las temperaturas de mezclado son de 180° C a 195° C. Y el tiempo de mezclado varía dependiendo de la dispersión del polímero.

#### **Para polímero ELVALOY.**

En esta no se requiere un molino, solamente es con agitación y temperatura, en un tiempo corto el polímero se funde y se incorpora al asfalto. Por lo regular son 2-3 horas a 180° C, el control de calidad se observa mediante la prueba visual.

### **3.3.5 Fórmulas de Trabajo**

Se determina en base a la ficha técnica proporcionada por el fabricante y formulaciones de laboratorio para determinar la dosificación a emplear.

<b>Polímero</b>	<b>Catalizador</b>	<b>Tiempo de Mezclado</b>	<b>Temperatura de mezclado</b>
1% Elvaloy	0.13% Acido Polifosfórico	2 horas	180 °C
3% SBS	1.5% Azufre	7 horas	192°C

**Tabla 3:** Formulas de trabajo **Fuente:** Laboratorio de SOLTEC S.A.

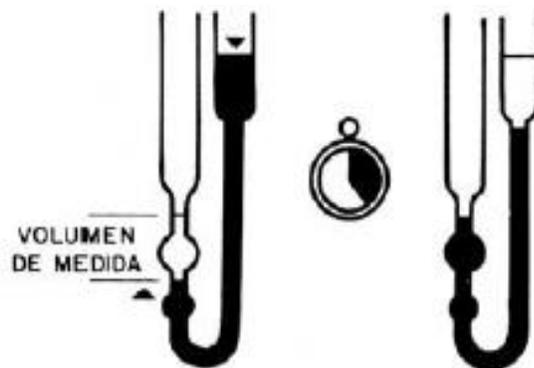
### 3.3.6 Caracterización de los ligantes asfálticos

Ensayos para determinar la calidad de los ligantes asfálticos:

#### Ensayo de viscosidad (ASTM D4402):

La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o consistencia del betún asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol o en el ensayo de viscosidad cinemática.

La viscosidad cinemática del betún asfáltico se mide normalmente con viscosímetros de tubo capilar de cristal como el descrito en el apéndice F del método ASTM D445. Como consecuencia de la comodidad del ensayo y de la mayor exactitud de los resultados, hay una reciente tendencia a medir la viscosidad cinemática de los betunes asfálticos y de los asfaltos fluidificados. Para este ensayo son necesarios, como consecuencia de la amplia gama de viscosidades de los asfaltos, varios viscosímetros calibrados que difieren entre sí en el tamaño del tubo capilar. La base de este ensayo es la medida del tiempo necesario para que fluya un volumen constante de material bajo condiciones de ensayo, como temperatura y altura de líquido, rígidamente controladas. Mediante el tiempo medido, en segundos, y la constante de calibración del viscosímetro, es posible calcular la viscosidad cinemática del material en la unidad fundamental, centistokes.



**Figura 11: Esquema del Ensayo de viscosidad cinemática, con viscosímetro capilar, (Fuente: Materiales Básicos, Alejandro Padilla Rodríguez)**



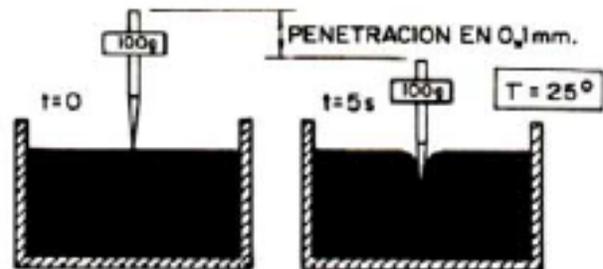
**Figura 12: Viscosímetro capilar, Laboratorio SOLTEC, S.A (fuente: autores)**

En el ensayo Saybolt-Furol se emplea un viscosímetro Saybolt con orificio Furol. Se coloca en un tubo normalizado cerrado con un tapón de corcho una cantidad especificada de betún asfáltico. Como las temperaturas a que se determinan la viscosidad de los betunes asfálticos son frecuentemente superiores a los 100 °C, el baño de temperatura constante del viscosímetro se llena con algún tipo de aceite. Cuando el asfalto ha alcanzado una temperatura establecida, se quita el tapón y se mide el tiempo necesario en segundos para que pasen a través del orificio Furol 60 ml del material.

Cuanto más viscosos son los materiales más tiempo es necesario para que pasen a través del orificio. Los valores Obtenidos se expresan como segundos Saybolt-Furol (SSF). Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método ASTM E102.

### Ensayo de penetración (ASTM D5, AASHTO T49):

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de penetración se hace a 25 °C, la aguja está cargada con 100 gr y la carga se aplica durante 5 s. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. La unidad penetración es la décima de milímetro. Es evidente que cuanto más blando sea el betún asfáltico mayor será la cifra que indique su penetración.



**Figura 13 y 14: Aparato para medir la penetración y Esquema del ensayo.**

**Fuente figura 13:** Los autores, Laboratorio SOLTEC, S.A

**Fuente figura 14:** Materiales Básicos, Alejandro Padilla Rodríguez

Los betunes asfálticos se clasifican en grados según su dureza o consistencia por medio de la penetración. El Instituto del Asfalto ha adoptado cuatro grados de betún asfáltico para pavimentación con penetraciones comprendidas dentro de los márgenes siguientes: 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300. Además, el Instituto tiene especificaciones para un betún asfáltico de penetración comprendida en el margen 40-50, que se usa en aplicaciones especiales e industriales.

### **Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D36)**

Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas distintas. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en el que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama punto de reblandecimiento del asfalto.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos AASTHO T53 y ASTM D36.



**Figura 15: Ensayo de anillo y bola en Laboratorio SOLTEC, S.A,  
(Fuente: los autores)**

## **Ensayo de Ductilidad (AASTHO T51 y ASTM D113)**

La ductilidad es una característica de los betunes asfálticos importante en muchas aplicaciones. La presencia o ausencia de ductilidad, sin embargo, tiene usualmente mayor importancia que el grado de ductilidad existente. Los betunes asfálticos dúctiles tiene normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tiene gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras que en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y el relleno de grietas, la propiedad más esencial es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura.

La ductilidad del betún asfáltico se mide en un ensayo de extensión. El ensayo consiste en moldear en condiciones y con dimensiones normalizadas una probeta de betún asfáltico que después se somete a la temperatura normalizada de ensayo y se somete a alargamiento con una velocidad especificada hasta que el hilo que une los dos extremos rompe. La longitud (cm) a la que el hilo de material se rompe define la ductilidad

## **Ensayo Punto de Inflamación**



**Figura 16: Determinación del punto de inflamación del ligante, Laboratorio SOLTEC, S. A, fuente: Autores**

Es la temperatura a la cual arden los vapores del asfalto al aproximar a la superficie del material una llama de prueba. Su determinación es interesante, puesto que cuando comprobemos que el punto de inflamación está 25 o 30 grados centígrados por encima de la temperatura a la que manejamos el asfalto para su utilización en la obra, procederemos a estas operaciones con notables precauciones.

### **Ensayo en Horno de Película Delgada Giratoria (RTFO):**

El ensayo de “Horno de película delgada rotacional”, con los métodos de ensayo de ASTM D 2872 y AASHTO T 240; permite conocer el comportamiento ligante tanto en el proceso de mezclado en planta como de la compactación en carretera.

El control de la temperatura, se lleva a cabo con un control digital, permitiendo ajustar los parámetros de temperatura. Cuenta con un sistema giratorio con capacidad para 8 frascos de vidrio templado que viene incluidos con el equipo. El asfalto recubre el frasco en la totalidad de su pared y tiene un área mayor de posición del ligante por lo tanto la película es aún más delgada, el flujo de aire hace que el ligante pierda más rápido los volátiles por la acción del aire y consigue una mayor interacción con el aire provocando que se envejezca en un periodo menor.

Simula un envejecimiento de corto plazo en campo, cuyo efecto corresponde a las primeras horas de fabricación de la mezcla asfáltica, al transporte, colocación y compactación de la misma. El tiempo estimado de envejecimiento de corto plazo, está condicionado para tres horas desde el momento en que se retira de la planta de producción hasta la colocación y compactación en obra.

## **Ensayo en Vaso presurizado (PAV):**

Este ensayo de “Envejecimiento a presión” con los métodos de ensayo ASTM D 6521 y AASHTO R 28 simula el envejecimiento por oxidación del ligante asfáltico en una mezcla convencional equivalente a un período de servicio entre 7 y 10 años. Conlleva el deterioro de la carpeta asfáltica ocasionado durante su vida útil producto del tiempo, factores climáticos, temperatura y/o servicio de la vía.

Se utiliza para medir el asfalto bajo condiciones de fatiga a temperaturas intermedias o bajas.

Cabe señalar que estas pruebas (RTFO y PAV) no son verdaderas pruebas, solamente son procedimientos por los cuales se expone una muestra de asfalto a las condiciones que aproximan las ocurridas durante las operaciones de planta de mezclado en caliente y los 7 años de servicio. Posteriormente son analizados por el Reómetro de corte dinámico quien determinará el módulo de deformidad, módulo de fatiga, ángulos de fase.

## **Reómetro de corte dinámico**

La prueba básica DSR (Dynamic Shear Rheometer) utilizó como muestra una lámina delgada colocada entre dos placas circulares. La placa inferior es fija, mientras que la placa superior oscila hacia adelante y hacia atrás, a través de la muestra a 10 rad/s (1.59 Hz para simular el efecto de un vehículo circulando a 80 km/h) para crear una acción de corte. Alcanza temperaturas desde los 5°C hasta 95°C (el rango puede extenderse dependiendo del fluido circulante).

El ensayo de Reología con DSR es utilizado para evaluar el comportamiento visco-elástico que experimenta el cemento asfáltico a intermedias y altas temperaturas de servicio. El procedimiento de ensayo puede ser consultado en AASHTO T 315-05. En el DSR se miden dos parámetros

fundamentales: el módulo complejo de corte ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ). La prueba es en gran parte controlada por un software.

$G^*$  puede ser considerado como la resistencia del cemento asfáltico a deformarse por esfuerzos de corte repetidos, mientras que  $\delta$  es el desfase entre el esfuerzo cortante aplicado y la deformación de corte resultante durante el ensayo. Entre mayor sea  $\delta$ , el material es más viscoso. Un material que experimente un comportamiento totalmente elástico experimenta un  $\delta=0^\circ$ , mientras que uno puramente viscoso presenta  $\delta=90^\circ$ .  $G^*$  y  $\delta$  son utilizados para intentar predecir la resistencia al ahuellamiento y al agrietamiento por fatiga.

Con el fin de evitar ahuellamiento en una mezcla asfáltica, el ligante asfáltico debe ser lo suficientemente rígido (bajo corte) y elástico, por lo tanto, la relación  $G^*/\sin\delta$  debe ser grande.  $G^*/\sin\delta$  debe ser como mínimo 1 kPa y 2.2 kPa para un ligante sin envejecimiento en RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) y con éste respectivamente. Para evitar agrietamiento por fatiga, la mezcla debe ser elástica pero no tan rígida hasta que se fragilice (la rigidez debe ser la suficiente para que la mezcla experimente un comportamiento dúctil); por lo tanto,  $G^*\sin\delta$  debe ser mínima. Como máximo se admite  $G^*\sin\delta \leq 5000$  kPa. La prueba es en gran parte controlada por el software, el cual arroja los resultados directamente.



**Figura 17: Reómetro de Corte Dinámico, Laboratorio SOLTEC, S.A**  
**(Fuente: autores)**

## CAPÍTULO 4. Diseño de Mezclas Asfálticas

---

### 4.1 Introducción

El objetivo principal del diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de la colocación.
- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

El diseño de mezcla adecuado, es generalmente el más económico y que cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente.

### 4.2 Definición de la granulometría de trabajo

En la construcción de las diferentes capas del pavimento, la granulometría de los agregados juega un papel primordial en su comportamiento y durabilidad. Una buena gradación implica un mejor acomodamiento de las partículas y una mayor resistencia a los esfuerzos de flexión y compresión. Esto ha llevado a recomendar el uso de determinadas gradaciones según que la estructura a construir sea terracería, sub-base, base, o carpeta asfáltica. Normalmente, la entidad contratante de una obra especifica la franja granulométrica dentro de la cual debe estar la gradación del agregado o agregados que se van a utilizar.

La metodología Marshall utiliza una gráfica semi-logarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica.

Los investigadores han determinado diferentes curvas granulométricas de agregados que generan los mejores comportamientos en las mezclas asfálticas, estas se detallan en la tabla 5, la cual establece, para una determinada gradación a emplear, un rango de porcentaje de material que debe pasar para cada tamiz.

El control de la mezcla en la obra se debe evaluar con tolerancias establecidas en la tabla 4.

**Tabla 4: Tolerancias de trabajo**

Tamiz	Tolerancias, %
12.5 mm (1/2 in) y mayores	±8
9.5 mm (3/8 in) y 4.75 mm (No. 4)	±7
2.36 mm (No. 8) y 1.18 mm (No. 16)	±6
600µm (No. 30) y 300µm (No. 50)	±5
75µm (No. 200)	±3
Asfalto (% total del peso de mezcla)	±0.5

**Fuente:** ASTM D3515 (Tabla 3: Fórmulas de la mezcla de Trabajo)

#### 4.2.1 Combinación de agregados

Cuando se requiere cumplir una especificación granulométrica y los materiales que se tienen no la cumplen, es posible mezclarlos con el objeto de que la mezcla, sí reúna las especificaciones dadas, por supuesto la mezcla más económica es aquella que se logra con el menor número de agregados.

El procedimiento más utilizado para determinar la combinación adecuada de agregados consiste en realizar un tanteo de los porcentajes de cada material a emplear y ver la tendencia en la gráfica granulométrica; si la curva tiende hacia el fino, se deberá aumentar el porcentaje de agregado grueso a usar y viceversa.

**Tabla 5: Graduaciones propuestas para mezclas densas**

Abertura de malla	Tamaño máximo nominal del agregado								
	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	D-9
	50mm (2 in)	37.5 mm (1 1/2 in)	25.0 mm (1 in)	19.0 mm (3/4 in)	12.5 mm (1/2 in)	9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
63 mm (2 1/2 in.)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
50 mm (2 in.)	90 - 100	100	-	-	-	-	-	-	-
37.5 mm (1 1/2 in.)	-	90 - 100	100	-	-	-	-	-	-
25 mm (1 in.)	60 - 80	-	90 - 100	100	-	-	-	-	-
19 mm (3/4 in.)	-	56 - 80	-	90 - 100	100	-	-	-	-
12.5 mm (1/2 in.)	35 - 65	-	56 - 80	-	90 - 100	100	-	-	-
9.5 mm (3/8 in.)	-	-	-	56 - 80	-	90 - 100	100	-	-
4.75 mm (No. 4)	17 - 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	-	100
2.36 mm (No. 8)	10 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	-	95 - 100
1.18 mm (No. 16)	-	-	-	-	-	-	40 - 80	-	85 - 100
600 µm (No. 30)	-	-	-	-	-	-	25 - 65	-	70 - 95
300µm (No. 50)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	-	45 - 75
150µm (No. 100)	-	-	-	-	-	-	3 - 20	-	20 - 40
75µm (No. 200)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	-	9 - 20
<b>Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de mezcla.</b>									
	2 - 7	3 - 8	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

**Fuente:** ASTM D-3515 (Tabla 1, Composición de mezclas densas de pavimentos asfálticos)

### 4.3 Mezclas Asfálticas Estructurales

#### Tipos de clasificación de una mezcla asfáltica.

De acuerdo a sus huecos:

Mezcla cerrada: huecos menores al 5 %.

Mezcla Abierta: Huecos mayores al 5 %.

De acuerdo a su granulometría: según % que pasa en la malla N° 8

Graduación densa 35 - 50

Graduación gruesa 20 - 35

Graduación abierta 5 - 20

Graduación fina pasa más del 50 %

#### Características y Comportamiento de las Mezclas.

Una muestra de pavimentación preparada en laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado principalmente hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas pueden tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro principales características son:

**Densidad de la mezcla:** La densidad de la mezcla compactada está definida como la masa de un volumen específico de la mezcla. La densidad es una característica muy importante en el control de calidad, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento. A veces un exceso de densidad puede producir efectos negativos (reventones).

La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento

terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio.

**Vacíos de aire (huecos (Va)):** Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsa de aire, que están presente en los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional por efecto del tráfico y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante esa compactación adicional.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de huecos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y aire y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de huecos puede causar exudación del asfalto, condición donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

Siempre debe haber aire al interior de la muestra, ya que esto permite la flexibilidad de los pavimentos asfálticos. Si las partículas y el asfalto no encuentran espacios vacíos donde acomodarse se produce la exudación.

- **Vacíos en el agregado mineral (VAM):** Los vacíos en el agregado mineral son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El V.A.M. representa el espacio disponible para acomodar el “volumen efectivo de asfalto” y el volumen de vacíos en la mezcla.

**Contenido de asfalto:** El contenido de asfalto de una mezcla está determinado por propiedades predeterminadas y establecidas mediante criterios tanto técnicos como económicos.

El contenido de asfalto efectivo es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de agregado. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

### **3.3.- Parámetro de Diseño de Mezclas.**

Las principales propiedades que contribuyen a la calidad de una mezcla en caliente son:

**Estabilidad:** Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Depende principalmente de la fricción interna y de la cohesión.

**Durabilidad:** es la capacidad de un pavimento de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima.

**Flexibilidad:** capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base y sub-rasante sin agrietarse.

**Resistencia a la fatiga:** capacidad de un pavimento para resistir los esfuerzos provocados por el tránsito en repetidas pasadas.

**Resistencia al deslizamiento:** Cualidad de un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje.

**Impermeabilidad:** resistencia del pavimento a ser penetrado por el aire y el agua.

**Trabajabilidad:** facilidad de una mezcla a colocarse y compactarse.

## **4.4 Método de Diseño Marshall**

### **4.4.1 Antecedentes**

El concepto del método Marshall para diseños de mezclas de pavimento fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del departamento de autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El ensayo Marshall para mezclas asfálticas para pavimentación puede emplearse para proyecto en laboratorio y comprobación en obra de las mezclas que contienen betún asfáltico y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1". Las principales características del ensayo son el análisis densidad-vacíos y los ensayos de estabilidad y fluencia sobre probetas de mezcla compactada.

Se prepara probetas de 2 ½" (6.35 cm) de espesor y 4" (10cm) de diámetro, mediante procedimientos especificados, compactándolas por impacto con un martillo cuyo maso debe pesar 10 lb y la caída de este debe ser de 18". Se determinan la densidad y vacíos de las probetas compactadas estas se calculan relacionando densidad máxima teórica y densidad Bulk.

### **4.4.2 Definiciones**

#### **Densidad específica máxima teórica (ASTM D2041)**

Este ensayo se realiza a la mezcla no compactada para obtener la densidad máxima del material, el procedimiento consiste en saturar la muestra con agua, usando una máquina de vacíos Rice, que la somete a una presión de 30 mm de mercurio (Hg) durante 15 min., este procedimiento se realiza para determinar el volumen de sólidos de la muestra y posterior la densidad máxima de la mezcla.

### **Densidad Bulk. (AASHTO T 166-11 y ASTM D1188.)**

También conocida como densidad aparente, es la relación entre el volumen y el peso seco del material, incluyendo huecos y poros. A diferencia de la densidad máxima teórica esta se calcula con la muestra ya compactada vinculando el peso de la pastilla seca, el peso sumergido obtenido en una balanza hidrostática y el peso saturado superficialmente seco, con dichos valores se determina el volumen y el peso específico bulk de la mezcla, el proceso de realización de este ensayo se detalla en la norma ASTM D1188.

### **Porcentaje de vacíos (AASHTO T-269 y ASTM D 3203)**

Son aquellas bolsas de aire entre las partículas de agregado recubiertas con betún, en una mezcla bituminosa de pavimentación compactada. La diferencia entre la densidad máxima teórica y la densidad bulk permite calcular el valor de los vacíos de la mezcla los cuales deberían de estar entre 3% y 5%.

### **4.4.3 Procedimiento de Ensayos Marshall**

#### **Descripción del Método de Ensayo (AASHTO T-245)**

Este método describe la medición de la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas, cargadas sobre su manto lateral, usando el aparato Marshall. Este método es aplicable a mezclas asfálticas con áridos cuyo tamaño máximo absoluto es igual o menor a 1" (25mm).

#### 4.4.4 Determinación del contenido óptimo de Asfalto

Para la determinación del contenido de diseño de asfalto para una mezcla particular por el método Marshall, se preparan una serie de especímenes de ensayo para un rango de diferentes contenidos de asfalto, para que los datos de las curvas muestren relaciones bien definidas.

Las pruebas deben planearse en base a incrementos de 0.5% del contenido de asfalto, con al menos 2 contenidos de asfalto sobre el valor de diseño esperado y al menos 2 por debajo de ese valor.

El contenido de asfalto de diseño esperado se puede basar en cualquiera o todas estas fuentes: Experiencia, formula computacional, o la realización de la equivalencia de Keroseno-Centrifuga y pruebas de inmersión en aceite en el procedimiento Hveem.

Un ejemplo de la formula computacional es la siguiente ecuación:

$$P=0.035a+0.045b+Kc+F$$

Donde:

P: contenido aproximado de asfalto de la mezcla, % peso de la mezcla

a: Porcentaje de agregado mineral retenido en el tamiz numero 8 (2.36mm)

b: Porcentaje de agregado mineral que pasa el tamiz numero 8 (2.36mm) y retenido en el tamiz N° 200.

C: Porcentaje de agregado mineral que pasa el tamiz N° 200.

K: 0.15 si el porcentaje que pasa la 200 se encuentra entre 11-15%

0.18 si el porcentaje que pasa la 200 se encuentra entre 6-10%

0.20 si el porcentaje que pasa la 200 se se encuentra en 5% o menos

F: 0 a 2%. Basado en la absorción del agregado ligero o pesado en ausencia de otros valores se sugiere un valor de 0.7.

Para proporcionar datos adecuados se preparan al menos 3 muestras de prueba para cada contenido de asfalto seleccionado, por lo tanto un diseño de mezcla Marshall necesita 6 contenidos de asfalto diferentes, que requerirá al menos 18 especímenes de prueba, cada muestra de prueba requerirá aproximadamente 1.2 Kg (2.7lb) de agregado suponiendo un desperdicio menor. Asumiendo la menor cantidad de desperdicio, la cantidad mínima de agregado requerido para un diseño de mezcla es de 23kg (50 lb) y cerca de 4 litros o un galón de asfalto.

Una vez ensayadas las muestras se promedian los valores obtenidos de las 3 briquetas, con ellos se prepara una gráfica separada y conecte los puntos trazados con una curva suave, que obtiene el mejor ajuste para todos los valores, dichas gráficas son las siguientes:

Estabilidad vs %asfalto, flujo vs %asfalto, Peso unitario vs %asfalto, Vacíos de aire vs %asfalto, % vacíos llenos de asfalto vs %asfalto y % Vacíos en el agregado mineral vs %asfalto.

Estos gráficos se utilizaran para determinar el contenido de diseño de asfalto que cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla.

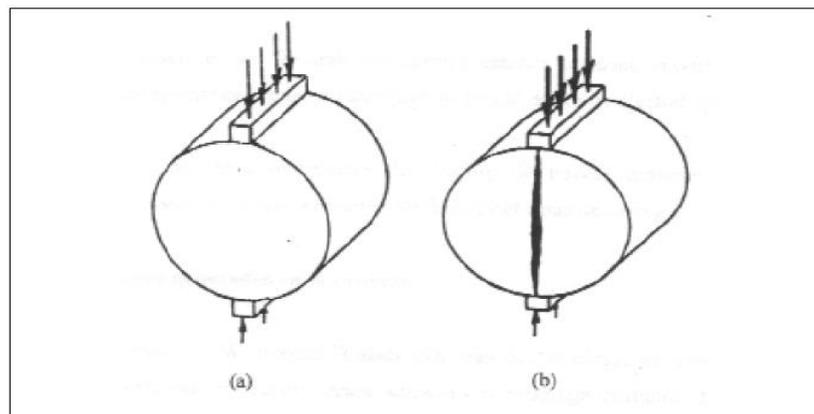


**Figura 18: Briquetas con diferentes contenidos de asfalto, Laboratorio INSUMA, fuente: autores**

#### 4.5 Ensayo de Tracción Indirecta o Resistencia Retenida a la Tensión Diametral (AASHTO T 283)

Inicialmente este ensayo fue pensado para evaluar la resistencia a la tracción de especímenes de concreto bajo cargas estáticas, es un ensayo de rotura donde al espécimen en posición horizontal se le aplica una carga progresiva, con una velocidad de deformación de  $0.8 \pm 0.1$  mm/s.

El ensayo fue adaptado por el investigador Schmidt da Chevron, California, para mezclas asfálticas con carga repetida. Se aplica carga diametral en especímenes Marshall, induciendo un estado de compresión relativamente uniforme a lo largo del plano diametral vertical (Fig. 19). Este tipo de carga origina esfuerzos de tensión perpendiculares a la dirección de la carga aplicada (a lo largo del eje diametral vertical) que al final causa la falla en el espécimen.



**Figura 19: Ensayo de tensión diametral durante la carga y falla del espécimen. (Fuente: AASHTO T 283)**

Una carga de 0.5" (12.7mm) de ancho se aplica en especímenes de 4" de diámetro (101.6 mm) para proporcionar una carga uniforme en todo el ancho, que produzca la distribución de esfuerzos uniformes.

El ensayo de tensión diametral proporciona dos propiedades de la mezcla. La primera es la resistencia a la tracción que es un parámetro que evalúa la susceptibilidad al humedecimiento de las mezclas. Para la susceptibilidad al humedecimiento, se mide la resistencia antes y después de saturar el espécimen, se calcula la resistencia a la tracción retenida como un porcentaje de la resistencia a la tracción original. En segundo lugar, la deformación por tracción en falla se emplea para evaluar el potencial de agrietamiento de la mezcla. Las mezclas que toleran altas deformaciones antes de alcanzar la falla resisten mejor los agrietamientos comparados con las mezclas que no toleran altas deformaciones.

El ensayo de tensión diametral normalmente se realiza a una velocidad de aplicación de carga de 2 pulg/min y 30 °C. Los ensayos de tensión también pueden realizarse a otras temperaturas (especialmente las más bajas) para predecir el comportamiento de la mezcla sometida a agrietamientos por baja temperatura.

### **Importancia y aplicación del ensayo**

Se utiliza para predecir la adherencia a largo plazo de las mezclas asfálticas. Este método de ensayo se puede utilizar para ensayar mezclas de concreto asfáltico en conjunto con el diseño de mezcla para determinar el potencial al daño por humedad.

### **Resumen del Procedimiento.**

La susceptibilidad al daño por humedad de las mezclas se evaluó mediante la determinación de la tensión diametral de especímenes en condición seca y húmeda, de acuerdo a la norma AASHTO T283, método estándar para la resistencia de mezcla asfáltica compactadas al daño por humedad. Para cada mezcla, se compactan seis especímenes con un diámetro de 150mm y una altura

de  $95\text{mm} \pm 5\text{ mm}$  y una relación de vacíos de  $7\% \pm 0.5\%$ . Un grupo de tres especímenes se selecciona como el de control y se ensaya sin acondicionamiento. El otro grupo se acondiciona mediante saturación por vacío e inmersión en agua por 30 minutos, seguido por 24 horas en un baño de agua a  $60^{\circ}\text{C}$ . Ambos grupos se someten a una carga diametral hasta alcanzar la falla. La resistencia retenida a la tensión diametral se calcula como la razón de las tensiones diametrales de los especímenes acondicionados y los de control.

Según la norma la relación entre la estabilidad de las muestras sumergidas en agua a  $60^{\circ}\text{C}$  y la de las muestras normalizadas, debe ser igual o mayor a 70%, para que la mezcla sea aceptada.



**Figura 20: Espécimen de prueba para ensayo de tensión diametral**

## **CAPÍTULO 5. Desarrollo Experimental**

---

### **5.1 Caracterización de Agregados**

#### **5.1.1 Presentación de Resultados**

##### **Fuente de los agregados**

La fuente de los agregados se conoce como banco “El Portillo” y se localiza en el departamento de Managua, carretera hacia Veracruz. Estos agregados son producidos mediante trituración por la Empresa Proinco.

##### **Forma de Producción de los agregados**

El proceso de trituración produce dos fracciones separadas de agregado. Una fracción de agregado grueso con tamaño máximo nominal de 12.5 mm (1/2”) y una fracción de agregado fino con tamaño máximo nominal de 4.75 mm (N° 4).

##### **Fecha de muestreo de los agregados**

Se muestreo los agregados, el día lunes 10 de abril 2018.

##### **Soportes de los Ensayos**

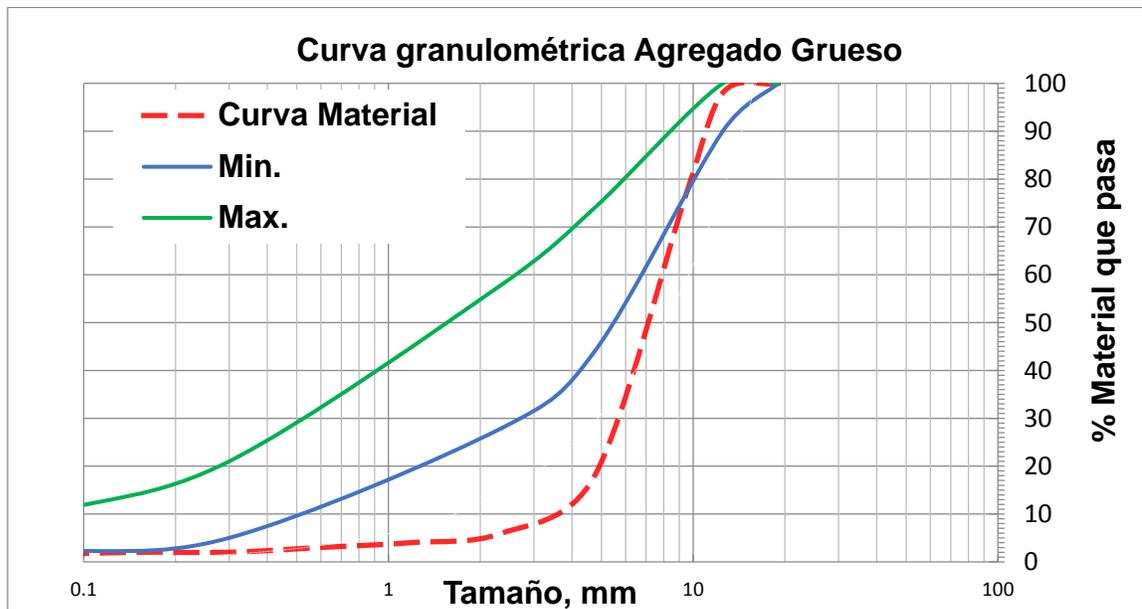
Los soportes de los ensayos de caracterización de los agregados utilizados en esta investigación pueden observarse en el Anexo D paginas XX-XXII

## Granulometría de los agregados

Tabla 6: Granulometría del agregado con tamaño máximo de 19.0 mm (Grueso)

Tamiz		Material que pasa
In	mm	%
1"	25.4	100
3/4"	19.0	100
1/2"	12.5	98
3/8"	9.5	77
N° 4	4.75	18
N° 8	2.36	6
N° 16	1.18	4
N° 30	0.6	3
N° 50	0.3	2
N° 100	0.15	2
N° 200	0.075	1.5

Gráfica 1: Curva granulométrica del agregado con tamaño máximo de 19mm.

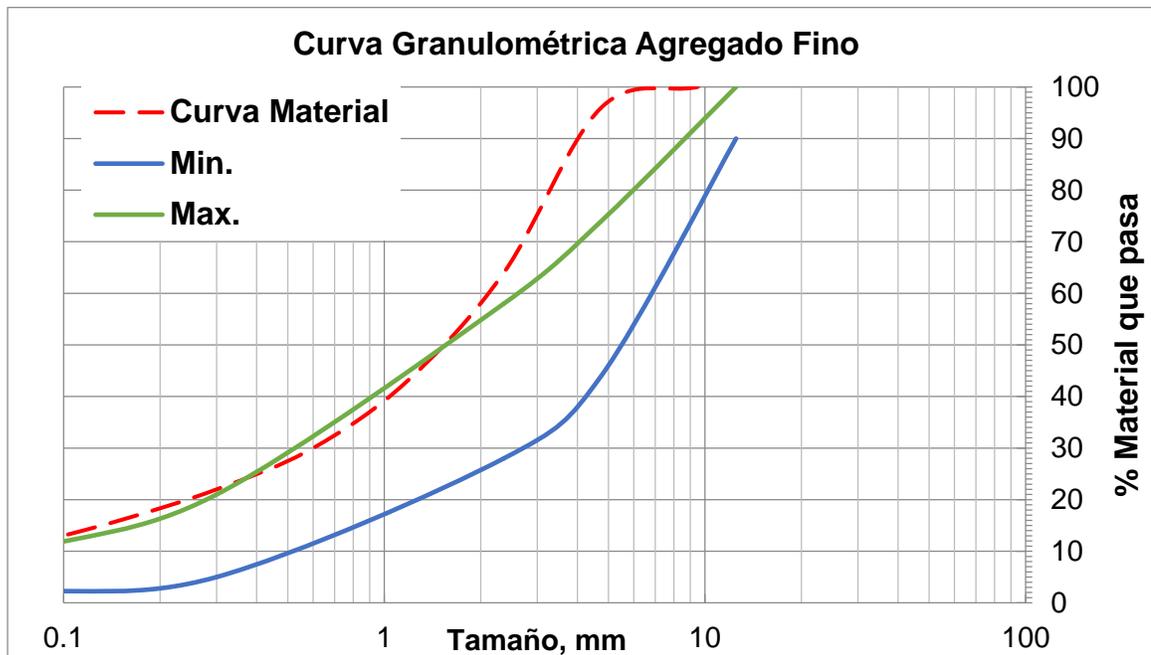


La línea segmentada representa la curva granulométrica del agregado grueso, es evidente que este agregado, por sí solo no satisface los requisitos de granulometría de la columna D5 del ASTM D-3515 establecidos para esta investigación, limitados por las líneas sólidas

**Tabla 7: Granulometría del agregado con tamaño máximo de 9.5 mm (Fino)**

Tamiz		Material que pasa
In	mm	%
1/2"	12.5	100
3/8"	9.5	100
N° 4	4.75	96
N° 8	2.36	64
N° 16	1.18	43
N° 30	0.6	30
N° 50	0.3	22
N° 100	0.15	16
N° 200	0.075	11

**Gráfica 2: Curva granulometrica del agregado con tamaño máximo de 9.5mm.**



La línea segmentada representa la curva granulométrica del agregado fino, es evidente que este agregado, por sí solo no satisface los requisitos de granulometría de la columna D5 del ASTM D-3515 establecidos para esta investigación, limitados por las líneas sólidas

## Propiedades Físicas individuales de los agregados

**Tabla 8: Propiedades Físicas individuales del agregado grueso**

Propiedad	Fracción Ensayada	Estándar	Unidad	Resultado
Peso unitario seco compacto	Toda la muestra	AASHTO T 19	(Kg/m <sup>3</sup> )	1,511
Peso unitario seco suelto	Toda la muestra	AASHTO T 19	(Kg/m <sup>3</sup> )	1,369
Una o más caras fracturadas	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 5821	(%)	99.4
Dos o más caras fracturadas	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 5821	(%)	99.4
Partículas planas	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 4791	(%)	7.0
Partículas alargadas	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 4791	(%)	0
Partículas planas y alargadas	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 4791	(%)	2.5
Resistencia al desgaste y abrasión	9.5 a 4.75 mm	AASHTO T 96	(%)	31.3
Sanidad de la fracción gruesa *	12.5 a 4.75 mm	AASHTO T 104	(%)	0.14
Sanidad de la fracción fina *	4.75 a 2.36mm	AASHTO T 104	(%)	0.28
Durabilidad del agregado	12.5 a 4.75 mm	AASHTO T 210	(%)	93.0

\* De acuerdo con la granulometría de este agregado grueso el ensayo de sanidad es aplicable a la fracción gruesa (mayor de 9.5 mm) y a la fina (menor de 4.7 mm)

**Tabla 9: Propiedades Físicas individuales del agregado fino**

Propiedad	Fracción Ensayada	Estándar	Unidad	Resultado
Índice de Plasticidad	Menor de 0.425 mm	ASTM D 4318	-	No plástico
Peso unitario seco compacto	Toda la muestra	AASHTO T 19	(Kg/m <sup>3</sup> )	1,962
Peso unitario seco suelto	Toda la muestra	AASHTO T 19	(Kg/m <sup>3</sup> )	1,729
Equivalente de arena	Menor de 4.75 mm	AASHTO T 176	(%)	71
Sanidad de la fracción fina	9.5 a 0.3 mm	AASHTO T 104	(%)	5.76
Impurezas Orgánicas	4.75	AASHTO T 21	-	Color 3

### 2.3- Gravedad Específica y absorción de los agregados individuales

Tabla 10: Agregado con tamaño máximo de 19.0 mm (Grueso)

Propiedad	Fracción Ensayada	Porcentaje (%)	Estándar	U/M	Resultado
Gravedad Específica Aparente	19.0 a 2.36 mm	94	AASHTO T 85	-	2.935
Gravedad Específica Aparente	Menor de 2.36 mm	6	AASHTO T 84	-	2.978
<b>Gravedad Específica Aparente (Ponderada):</b>		<b>100</b>		-	<b>2.937</b>
Gravedad Específica Bruta	19.0 a 2.36 mm	94	AASHTO T 85	-	2.777
Gravedad Específica Bruta	Menor de 2.36 mm	6	AASHTO T 84	-	2.901
<b>Gravedad Específica Bruta (Ponderada):</b>		<b>100</b>		-	<b>2.784</b>
Absorción de agua:	19.0 a 2.36 mm	94	AASHTO T 85	(%)	1.9
Absorción de agua:	Menor de 2.36 mm	6	AASHTO T 84	(%)	0.9
<b>Absorción de agua (Ponderada):</b>		<b>100</b>		(%)	<b>1.8</b>

Tabla 11: Agregado con tamaño máximo de 9.5 mm (Fino)

Propiedad	Fracción Ensayada	Porcentaje (%)	Estándar	U/M	Resultado
Gravedad Específica Aparente	9.5 a 2.36 mm	36	AASHTO T 85	-	2.981
Gravedad Específica Aparente	Menor de 2.36 mm	64	AASHTO T 84	-	2.978
<b>Gravedad Específica Aparente (Ponderada):</b>		<b>100</b>		-	<b>2.979</b>
Gravedad Específica Bruta	9.5 a 2.36 mm	36	AASHTO T 85	-	2.797
Gravedad Específica Bruta	Menor de 2.36 mm	64	AASHTO T 84	-	2.901
<b>Gravedad Específica Bruta (Ponderada):</b>		<b>100</b>		-	<b>2.863</b>
Absorción de agua:	9.5 a 2.36 mm	36	AASHTO T 85	(%)	2.2
Absorción de agua:	Menor de 2.36 mm	64	AASHTO T 84	(%)	0.9
<b>Absorción de agua (Ponderada):</b>		<b>100</b>		(%)	<b>1.1</b>

### 5.1.2 Análisis e interpretación de Resultados

Los ensayos realizados al agregado producido por PROINCO, revelan que es de alta calidad, puesto que supera por mucho las especificaciones mínimas exigidas en la sección 1003.10 de las Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC 2000, como lo muestran las siguientes tablas:

**Tabla 12. Consolidado de los resultados de caracterización del agregado**

Ensayo	Especificación	Resultado
<b>Agregado Grueso Proinco</b>		
Desgaste Máquina de los Ángeles	40 % Máximo	31.3%
Perdida prueba del sulfato de sodio	12 % Máximo	0.14%
Caras facturadas	75 % Mínimo	99.4%
Índice de durabilidad	35 % Mínimo	93%
<b>Agregado Fino Proinco</b>		
Índice de durabilidad	35 % Mínimo	93%
Equivalente de Arena	45 % Mínimo	71 %

**Fuente:** Los autores

El análisis granulométrico de los agregados nos permite inferir que es posible determinar una combinación de ambas fracciones de material que satisfagan la especificación granulométrica de la columna D5 del ASTM D 3515, establecida para este proyecto de investigación.

Además de las especificaciones establecidas en las Normas Nacionales, es necesario realizar un análisis exhaustivo de las propiedades físicas del agregado, muchas de las cuales son fundamentales en el desempeño de las mezclas asfálticas, de este agregado podemos detallar lo siguiente:

El agregado se clasifica como un agregado de peso normal, el cual es producto de la trituración de la roca, proveniente de un afloramiento rocoso. Esto se ve reflejado su alto contenido de caras fracturadas (99.4%), lo que afecta positivamente al desempeño de la mezcla, debido a que las partículas tendrán

más trabazón, por el rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos, lo que repercute en mayor estabilidad.

El agregado posee un 2.5% de partículas planas y alargadas, lo que se encuentra por debajo del límite recomendado de 15%. Esta restricción se debe a que las partículas de esta forma son susceptibles a quebrarse por compactación inicial o bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas.

Su alto índice de durabilidad 93% refleja la calidad del agregado, debido a la resistencia relativa de producir partículas finas de tipo arcilloso, al ser sometido a esfuerzos mecánicos de degradación.

Cuando nos encontramos en presencia de un agregado con partículas finas no plásticas, como este caso, el ensayo equivalente de arena resulta más efectivo, debido a que es posible que el agregado se encuentre contaminado con partículas no arcillosas, pero igualmente nocivas, que no se hayan podido detectar mediante los límites de Atterberg, el equivalente de arena de 71% de este material indica que nos encontramos con un agregado limpio, lo que se corroboró también con el ensayo para determinar impurezas orgánicas.

La absorción determina la porosidad del agregado por lo que un bajo porcentaje de absorción como en este caso, significa menor cantidad de asfalto absorbido por el agregado, lo que conlleva a un menor consumo de asfalto y por ende menor costo de la mezcla.

## 5.2 Caracterización de los ligantes asfálticos

### Tipo de ligante asfáltico:

El ligante base es cemento asfáltico AC-30 producido por Puma Energy International B.V

**Fecha y hora de muestreo del ligante asfáltico:** 01/08/18 08:00 am

### Soportes de los Ensayos:

Los soportes de los ensayos de caracterización de los ligantes estudiados en esta investigación pueden observarse en el Anexo D paginas XXVII a XXXIV.

**Tabla 13. Propiedades de los ligantes en estado original.**

Propiedades	U/M	Mínimo	Resultados		
			AC-30	AC-30+1% ELVALOY	AC-30 + 3% SBS
Penetración normal	dmm	30	54	48	38
Punto de flama	°C	230	256	300	310
Punto de ablandamiento	°C	-	48.4	58	57
Recuperación elástica por torsión	°	-	8	54	65
Módulo reológico de corte ( $G^*/sen\delta$ ).	KPa	1	1.905, a 64 °C	1.11, a 76 °C	1.507, a 76 °C

**Tabla 14. Propiedades de los ligantes envejecidos.**

Propiedades	U/M	Resultados			Especificación
		AC-30	AC-30+1% ELVALOY	AC-30+3% SBS	
( $G^*/sen\delta$ ) RTFO	KPa	4.60 a 64°C	2.587 a 76°C	3.667 a 76°C	2.2 Min.
( $G^*/sen\delta$ ) PAV	MPa	4.03 a 25°C	1.819 a 31°C	1.618 a 31°C	5 Max.

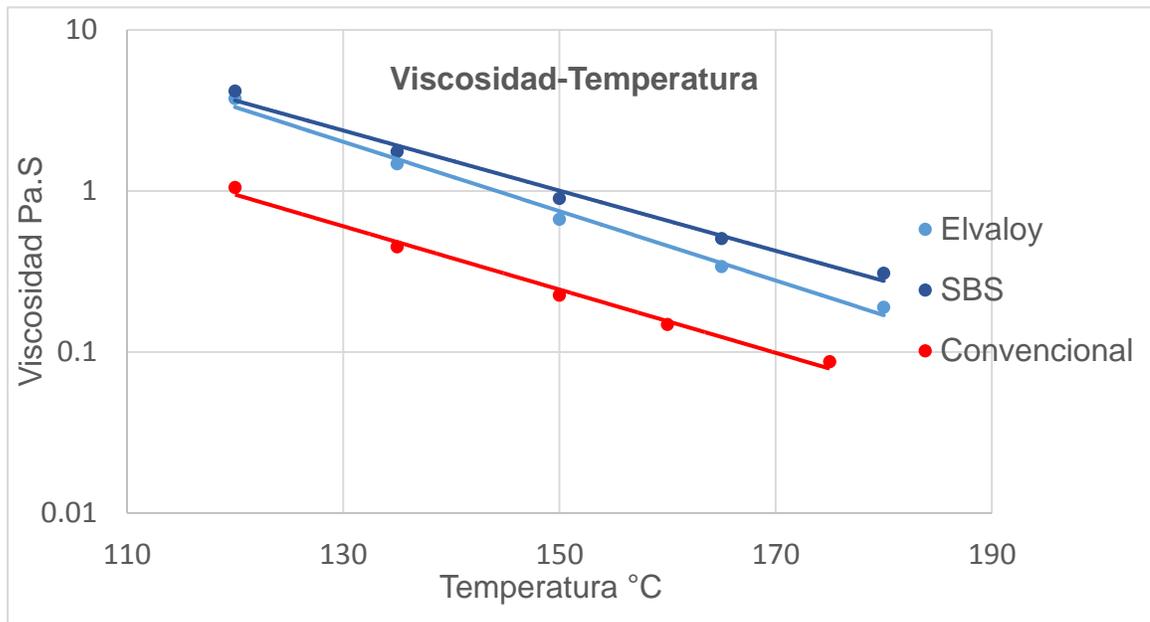
**Tabla 15. Grados de desempeño.**

Ligantes	Grado de desempeño
AC-30	PG 64(25)
AC-30 + 1% ELVALOY	PG 76(22)
AC-30 + 3% SBS	PG 76(22)

**Tabla 16. Temperatura de mezclado y compactación.**

Ligantes	T. de mezclado (°C)	T. de compactación (°C)
AC-30	157	146
AC-30 + 1% ELVALOY	190	180
AC-30 + 3% SBS	180	170

**Gráfica 3: Consolidado curvas de viscosidad-temperatura de los ligantes.**



**Fuente:** Consolidado de las gráficas viscosidad-temperatura de los ligantes estudiados, elaborada por los autores.

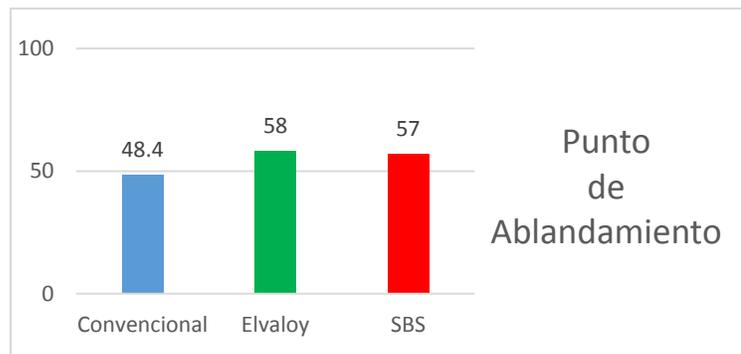
**Nota:** En la gráfica podemos observar que los asfaltos modificados aumentan la viscosidad de los ligantes. Esta grafica también es utilizada para determinar las temperaturas de mezclado y compactación donde el asfalto debe de alcanzar una viscosidad de  $170 \pm 20$  Cpt y  $280 \pm 30$  Cpt respectivamente.

## 5.2.1 Análisis e interpretación de Resultados

La incorporación de polímeros modificadores como el SBS y ELVALOY, generan grados de desempeño superior de 76. Lo que representa una mejora importante a las cualidades originales del ligante asfáltico base AC-30 el cual posee un PG 64(25). Esto garantiza un mejor desempeño del ligante ante temperaturas altas de servicio.

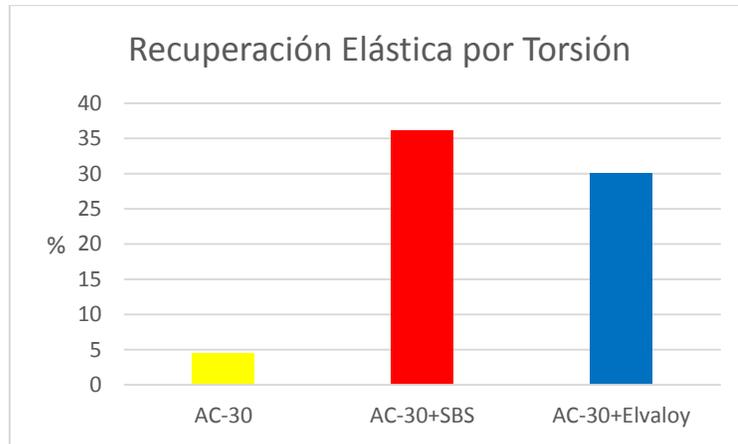
Ambos modificadores incrementan el punto de ablandamiento del asfalto original en un 19%, lo que refleja la reducción de la susceptibilidad térmica del asfalto, como se puede apreciar en el siguiente gráfico, este dato resulta relevante teniendo en cuenta que las temperaturas máximas del pavimento en Managua y León, rondan los 62.4°C (\*), por lo que incrementar la rigidez (o viscosidad) a temperaturas altas de servicio, aumentará la resistencia al ahuellamiento o a la deformación permanente.

(\*) Datos de estaciones meteorológicas de INETER



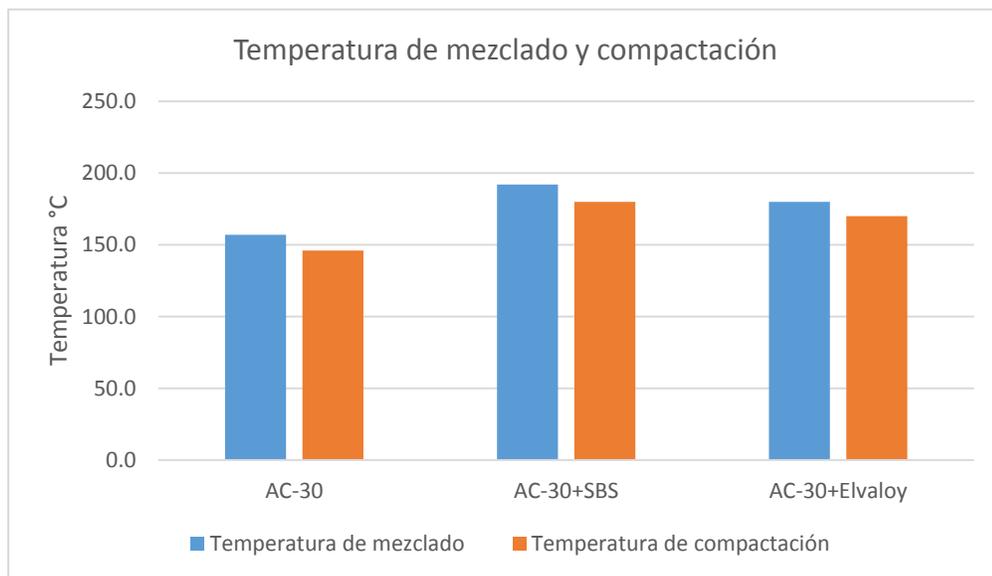
**Gráfica 4: Punto de ablandamiento de los ligantes**

El ensayo de recuperación elásticas por torsión, revela que la adición de los polímeros añade propiedades elásticas que son muy bajas en el ligante original, esto proporciona mayor resistencia a la fatiga, propiedades de recuperación de las deformaciones inducidas por la carga de tráfico.



**Gráfica 5: Recuperación Elástica por Torsión de los ligantes**

Las altas temperaturas necesarias para llevar el asfalto modificado hasta un grado de fluidez adecuado para lograr el mezclado y la compactación, indica un mayor consumo energético, para la producción de mezcla con asfaltos modificados, esto representa una desventaja en relación al asfalto convencional.



**Gráfica 6: Temperatura de mezclado y compactación de los ligantes**

### 5.3 Diseño de Mezclas Asfálticas

Para la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente se establecieron los siguientes parámetros:

**Tabla 17: Parámetros de Diseño Marshall**

Criterios para mezcla del método Marshall	Mínimo	Máximo
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta		75
Estabilidad (Lb.)	1,800	
Flujo, 0.25mm (0.01 pulgadas)	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)	Ver tabla 18 (%VMA)	
Porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VFA)	65	75
Resistencia retenida ASTM D4868	70	
Relación Polvo- Asfalto	0.6	1.3

**Fuente:** "Especificaciones Generales para calles, caminos y puentes NIC 2000", sección 405, cuadro 405-1, Mezcla clase A

**Tabla 18. Porcentaje mínimo de VMA**

Tamaño Máximo en mm Porcentaje		VMA mínimo, por ciento		
		Vacíos de diseño, por ciento		
mm	Plg.	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

**Fuente:** Especificación normal para tamaños de tamices usados en prueba, ASTM E11, AASHTO M92, Métodos de Diseño de Mezclas para concreto Asfáltico y otros tipos de mezclas en caliente (MS-2)

### 5.3.1 Definición Granulometría de Diseño

Considerando las especificaciones de diseño, se establecen las condiciones granulométricas de la columna D-5 del ASTM D-3515.

**Tabla 19: Granulometría de trabajo, Columna D-5**

Abertura de la malla	Tamaño Máximo Nominal 12.5mm
19 mm (3/4 in.)	100
12.5 mm (1/2 in.)	90 - 100
9.5 mm (3/8 in.)	-
4.75 mm (No. 4)	44 - 74
2.36 mm (No. 8)	28 - 58
1.18 mm (No. 16)	-
600 µm (No. 30)	-
300µm (No. 50)	5 - 21
150µm (No. 100)	-
75µm (No. 200)	2 - 10
% Asfalto/peso total	4 - 11%

**Fuente:** Extracto de la tabla 1 del ASTM D-3515, Columna D-5

#### 5.3.1.1 Combinación de agregados propuesta

De acuerdo a los resultados del análisis granulométrico de los agregados, es notorio observar que individualmente ninguno satisface la granulometría establecida para el proyecto, sin embargo, es posible obtener una combinación de ambos materiales que cumplan con los límites de la columna D-5 (tabla 19).

Para determinar los porcentajes a utilizar de cada material se realiza un proceso de iteración, utilizando para ello una hoja de cálculo de Microsoft Excel, de forma tal que los porcentajes de material combinado para cada tamiz, se encuentren aproximadamente al centro de los límites que encierra la Columna D-5

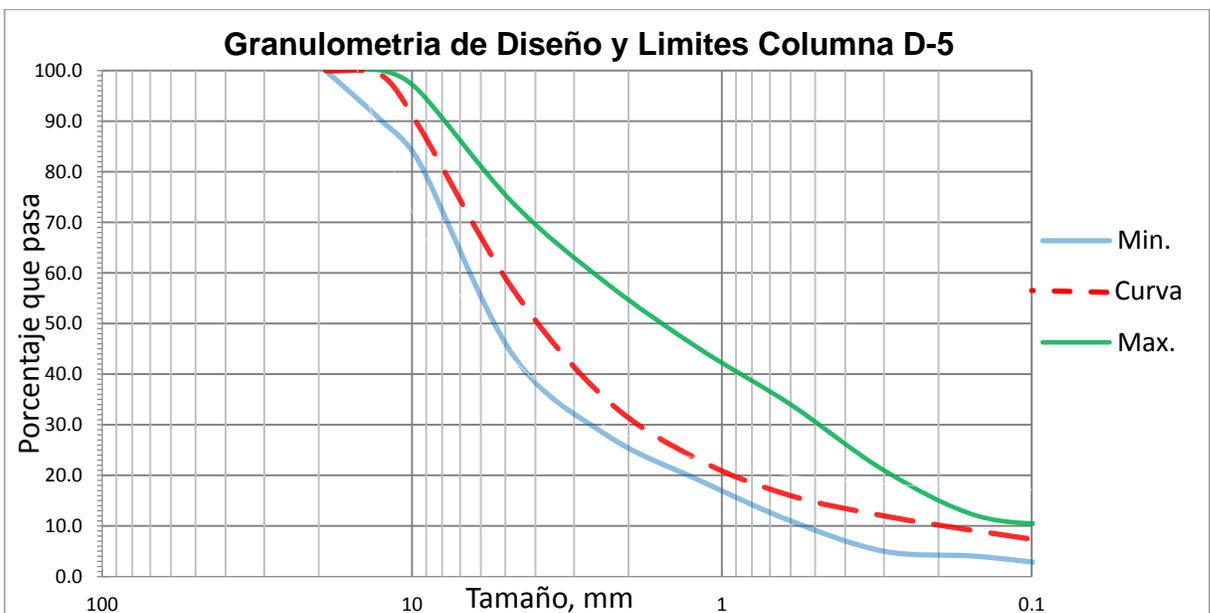
Combinando 50% de grueso con 50% de fino obtenemos los resultados mostrados en la tabla 20 y su respectiva gráfica:

**Tabla 20: Combinación de agregados para mezcla asfáltica densa en caliente**

COMBINACIÓN PARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE										
Resultados de Granulometrías de agregados			% combinados		%Que pasa combinado	Curva de diseño	Columna D-5			
			Fino	Grueso			% Mín	% Máx	OK	
Tamiz	Fino	Grueso	50.0	50.0						
1/2"	12.5	100.0	98.0	50.0	49.0	99.0	99.0	90.0	100.0	☑
3/8"	9.5	100.0	77.0	50.0	38.5	88.5	89.0	-	-	☑
#4	4.75	96.3	18.2	48.2	9.1	57.3	57.0	44.0	74.0	☑
#8	2.36	63.9	6.1	31.9	3.0	35.0	35.0	28.0	58	☑
#16	1.18	42.8	4.0	21.4	2.0	23.4	23.0	-	-	☑
#30	0.600	29.2	3.4	14.6	1.7	16.3	16.0	-	-	☑
#50	0.300	21.5	2.1	10.8	1.1	11.8	12.0	5	21.0	☑
#100	0.150	16.1	2.0	8.1	1.0	9.1	9.0			☑
#200	0.075	11.0	1.5	5.5	0.8	6.2	6.3	2	10	☑

**Fuente:** Tabla elaborada por los autores en Microsoft Excel. Se puede observar que los porcentajes de combinación establecidos de 50/50 generan una curva de diseño (color celeste) que se encuentra aproximadamente al centro de los límites que establece la columna D-5 (color verde).

**Gráfica 7: Curva Granulométrica de diseño.**



La curva granulométrica obtenida con la combinación de agregados en proporción 50/50, satisface los límites establecidos en la columna D5. **Fuente:** Los Autores.

## Granulometría de diseño de los agregados combinados.

Una vez combinados los agregados en las proporciones recomendadas, se obtiene la curva granulométrica de diseño mostrado en el gráfico 7.

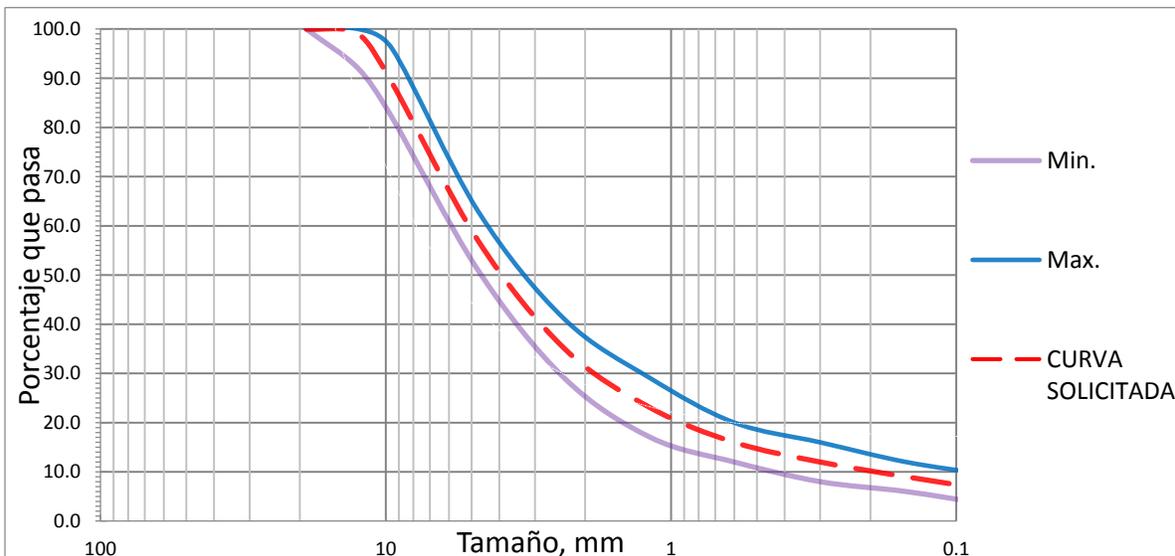
El control de la mezcla en la obra se debe evaluar con la franja de trabajo que incorpora las tolerancias de la tabla 4, como lo reproduce el gráfico 8.

**Tabla 21: Granulometría de los agregados con tolerancias de trabajo.**

Tamiz		Material que pasa. (%)	ASTM D3515 (Tabla 3)	
in	mm		Min.(%)	Max. (%)
3/4"	19.0	100	100	100
1/2"	12.5	99	92	100
3/8"	9.5	89	82	96
No. 4	4.75	57	51	63
No. 8	2.36	35	29	41
No. 16	1.18	23	17	29
No. 30	0.600	16	12	20
No. 50	0.300	12	8	16
No. 100	0.150	9	6	12
No. 200	0.075	6.3	3.3	9.3

Fuente: Los autores

**Grafica 8: Curva granulométrica de diseño con tolerancia de producción.**



### 5.3.2 Determinación del contenido Óptimo de Asfalto

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se realizó lo siguiente:

Se fabricaron 18 briquetas por cada tipo de ligante asfáltico, cumpliendo con la recomendación del MS-2, de fabricar al menos 3 briquetas para cada porcentaje analizado.

De acuerdo a la experiencia de la Empresa PAVINIC y a la fórmula computacional nos inducen a esperar un contenido de asfalto de alrededor del 6% por lo tanto, se fabricaron briquetas con los siguientes porcentajes de asfalto de 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 y 7.0%, en variaciones de 0.5% y con el fin de tener dos porcentajes de asfalto por encima y debajo del esperado.

El %de asfalto esperado se calcula con la siguiente fórmula:

$$P=0.035a+0.045b+Kc+F$$

Donde:

**a:** % de agregado mineral retenido en el tamiz numero 8 = **65%**

**b:** % de agregado mineral que pasa el tamiz numero 8 y retenido en el tamiz N°200= 35-6.1= **28.9%**

**c:** % de agregado mineral que pasa el tamiz N° 200= **6.2%**

**K= 0.18**, ya que % agregado pasa la 200 se encuentra entre 6-10%

**F:** absorción del agregado combinado= **1.45%**

$$P=0.035(65)+0.045(28.9)+ 0.18*6.2+1.45= \mathbf{6.1\%}$$

Las briquetas fueron compactadas a 75 golpes por cara, según las especificaciones para tráfico pesado, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 22: Resultados Marshall, para determinar contenido óptimo de asfalto de la Mezcla Asfáltica convencional**

Contenido de Asfalto (%)	Estabilidad (lb)	Flujo (1/100")	Peso Unitario. gr/cm <sup>3</sup>	V.M.A (%)	V.FA (%)	Va (%)
5.00	4,908	3.0	2.493	16.1	50.0	8.10
5.50	4,836	5.0	2.510	16.0	61.0	6.20
6.00	4,745	8.0	2.551	15.1	72.8	4.10
6.50	4,662	12.0	2.579	14.6	84.9	2.20
7.00	4,355	15.0	2.557	15.8	97.6	0.4

**Observaciones:** De los resultados se determinó que el porcentaje óptimo de asfalto a utilizar es de 6%, ya que cumple con todos los parámetros especificados para mezcla asfáltica en caliente, ver gráficas en Anexo A pág. II y III.

**Tabla 23: Resultados Marshall, para determinar contenido óptimo de asfalto de la Mezcla Asfáltica modificada con SBS**

Contenido de Asfalto (%)	Estabilidad (lb)	Flujo (1/100")	Peso Unitario. gr/cm <sup>3</sup>	V.M.A (%)	V.FA (%)	Va (%)
5.00	4,998	9.7	2.422	18.5	52.2	8.8
5.50	5,331	11.2	2.439	18.4	58.6	7.6
6.00	5,505	12.8	2.482	17.4	71.0	5.0
6.50	5,362	13.5	2.513	16.8	83.4	2.8
7.00	4,786	15.5	2.517	17.1	91.2	1.5

**Observaciones:** De los resultados se determinó que el porcentaje óptimo de asfalto a utilizar es de 6.1%, ya que cumple con todos los parámetros especificados para mezcla asfáltica en caliente, ver gráficas en Anexo A pág. IV y V.

**Tabla 24: Resultados Marshall, para determinar contenido óptimo de asfalto de la Mezcla Asfáltica modificada con Elvaloy**

Contenido de Asfalto (%)	Estabilidad (lb)	Flujo (1/100")	Peso Unitario. gr/cm <sup>3</sup>	V.M.A (%)	V.FA (%)	Va (%)
5.00	4,633	8.0	2.481	16.5	57.4	7.0
5.50	5,331	11.2	2.500	16.3	65.7	5.6
6.00	5,427	12.3	2.518	16.2	77.0	3.7
6.50	5,035	14.3	2.525	16.4	82.1	2.9
7.00	4,320	16.2	2.532	16.6	89.8	1.7

**Observaciones:** De los resultados se determinó que el porcentaje óptimo de asfalto a utilizar es de 5.9%, ya que cumple con todos los parámetros especificados para mezcla asfáltica en caliente, ver gráficas en Anexo A pág. VI y VII



**Figura 22: Determinación de la estabilidad y flujo en el aparato Marshall, Fuente: Los autores, Laboratorio INSUMA**

### 5.3.3 Evaluación del desempeño de las mezclas diseñadas

Para la determinación de las propiedades de las mezclas diseñadas se elaboraron para cada tipo de asfalto, 3 briquetas para la realización del Ensayo Marshall, más 6 briquetas para la determinación de la resistencia retenida a la tensión diametral.

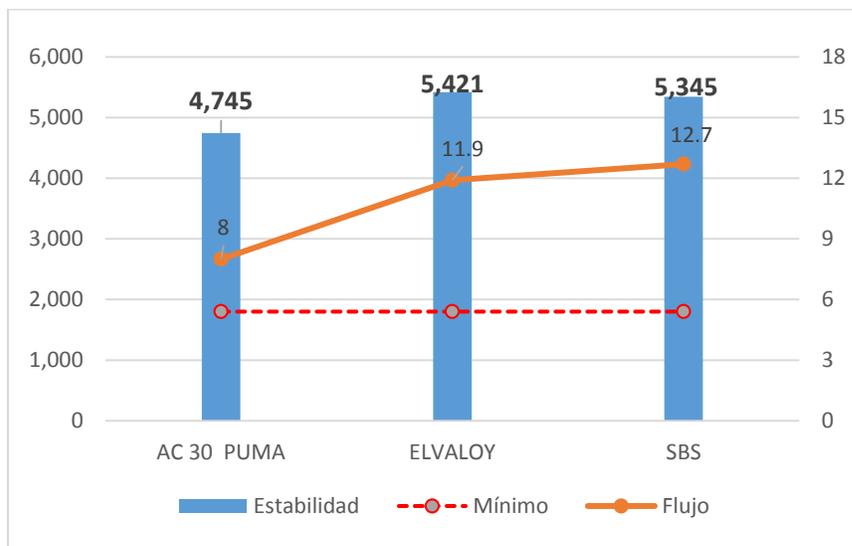
**Tabla 25: Resultados de los Ensayos de Desempeño**

Propiedad	Estándar	Unidad	Resultados			Especificación
Tipo de asfalto			AC 30 Puma	ELVALOY	SBS	
Golpes por cara del espécimen:	MS-2	-	75	75	75	75
Temperatura de mezcla:	MS-2	(° C)	156	180	189	
Temperatura de compactación:	MS-2	(° C)	146	172	179	
Asfalto total sobre el peso del agregado:	MS-2	(%)	6.4	6.27	6.5	-
Asfalto total sobre el peso de la mezcla:	MS-2	(%)	6	5.9	6.1	5.5 – 6.5
Relación Polvo / Asfalto total:	MS-2	-	1.05	1.07	1.03	0.6 - 1.3
Densidad Máxima Teórica:	AASHTO T 209	(Kg/m <sup>3</sup> )	2,660	2,622	2,594	-
Vacíos con aire de la mezcla:	AASHTO T 269	(%)	4.1	4.2	4.5	3.0 % - 5.0 %
VMA de la mezcla:	MS-2	(%)	15.1	16.3	17.6	14.0 mín.
VFA de la mezcla:	MS-2	(%)	72.8	74.2	74.3	65 - 75
Estabilidad:	AASHTO T 245	(lb)	4,745	5,421	5,345	1,800 mín.
Flujo:	AASHTO T 245	(1/100"mm)	8	11.9	12.7	8 – 14
Porcentaje de Resistencia Retenida	ASTM D4867	(%)	76.1	93.7	87.5	70 % mín.

### 5.3.4 Análisis e interpretación de resultados

El porcentaje óptimo de asfalto de acuerdo con los datos de la tabla refleja una reducción de 0.1% para (MAC+ 1% Elvaloy), y un incremento de 0.1% para (MAC+3% SBS), en relación al 6% de asfalto necesario para la mezcla convencional.

El ensayo Marshall revela el incremento de la estabilidad de la mezcla como consecuencia de la incorporación de los polímeros modificadores en una razón del 14% para (MAC+ 1% Elvaloy) y 13% para (MAC+3% SBS), cabe resaltar que todas las mezclas elaboradas superan, por mucho, la especificación mínima de estabilidad, a como lo refleja el siguiente gráfico.

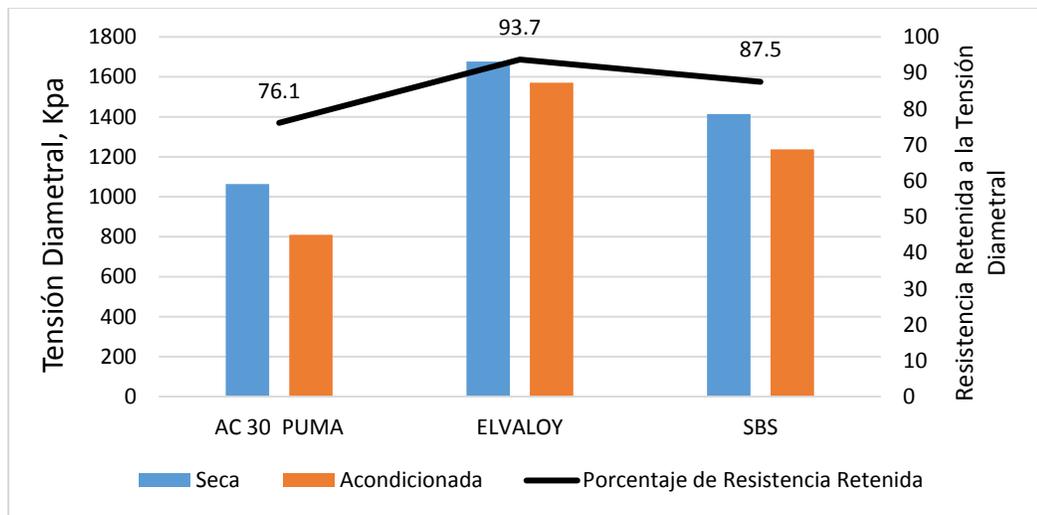


**Gráfica 9: Estabilidad y flujo Marshall**

La incorporación de polímeros provoca el aumento de la deformación de las briquetas, lo que es destacable, pues pese al incremento de la viscosidad del ligante modificado, la mezcla modificada es menos rígida y frágil que la mezcla convencional.

La prueba de resistencia retenida a la tensión diametral revela que la mezcla con asfalto convencional es más susceptible al daño por humedad, por el contrario la mezcla con asfalto modificado con Elvaloy presenta el mejor desempeño ante el daño por humedad, aceptando mayor carga de tensión diametral que las otras mezclas, aun en condiciones de saturación. Cabe resaltar que en todos los casos los valores superaron 75%, requisito establecido en el MS-2 para mezclas diseñadas para resistir el daño por humedad, por lo que todas las mezclas son aptas para este fin.

**Gráfica 10: Ensayo de Tensión diametral**



## Conclusiones

---

Los agregados utilizados en el diseño de las mezclas, manufacturados por la empresa PROINCO, poseen excelentes cualidades para fabricación de mezclas asfálticas de alto desempeño, pues cumplen satisfactoriamente con los parámetros descritos en las “Especificaciones Generales para Construcción de Caminos, Calles y Puentes NIC 2000”, expuesta en la sección 1003.10 (Agregados para Concreto Asfáltico en Caliente), como lo refleja la tabla 12, mostrada a continuación:

Ensayo	Especificación	Resultado
<b>Agregado Grueso Proinco</b>		
Desgaste Máquina de los Ángeles	40 % Máximo	31.3%
Perdida prueba del sulfato de sodio	12 % Máximo	0.14%
Caras facturadas	75 % Mínimo	99.4%
Índice de durabilidad	35 % Mínimo	93%
<b>Agregado Fino Proinco</b>		
Índice de durabilidad	35 % Mínimo	93%
Equivalente de Arena	45 % Mínimo	71 %

El asfalto base AC-30 utilizado es producido por Puma Energy International B.V, posee un Módulo Reológico de Corte ( $G^*/\text{sen}\delta$ ) de 1.905 KPa a 64 °C, y cumple con las especificaciones requeridas en condición envejecida a 25°C; por lo tanto posee un Grado de Desempeño PG 64 (25) que lo hace apto para las condiciones climáticas de nuestro país, pues las temperaturas máximas de pavimento en el año no superan los 63°C. (Según datos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INETER)

Por la modificación del asfalto base, con los polímeros SBS y Elvaloy, el grado de desempeño del ligante aumenta en el límite superior, pasando de un PG 64 a un PG 76, lo que brinda a los asfaltos modificados, un mejor comportamiento ante las altas temperaturas de servicio, propias del clima de nuestro país, como lo refleja la tabla 15, mostrada a continuación.

Tipo de Ligante Asfáltico	Grado de Desempeño (PG)
AC-30	64(25)
AC-30 + 3% SBS	76(22)
AC-30 + 1% Elvaloy	76(22)

La adición de polímeros elastómeros mejora las propiedades del ligante base, tales como disminución de la penetración e incremento del punto de flama, punto de ablandamiento y recuperación elástica por torsión, esta última propiedad permite obtener una mejor resistencia a la deformación plástica de la mezcla asfáltica, véase tabla 13, a continuación

Propiedades	U/M	Mínimo	Resultados		
			AC-30	AC-30+1% ELVALOY	AC-30 + 3% SBS
Penetración normal	dmm	30	54	48	38
Punto de flama	°C	230	256	300	310
Punto de ablandamiento	°C	-	48.4	58	57
Recuperación elástica por torsión	°	-	8	54	65

Los asfaltos modificados presentaron un aumento considerable en su viscosidad, reflejado esto en las distintas curvas reológicas, lo que influye directamente en el incremento de las temperaturas de mezcla y compactación, y que repercute en un mayor consumo de energía tanto en el proceso de modificación del asfalto, como en el de producción de la mezcla, ver tabla 16, mostrada a continuación

Ligante	Temperatura de mezclado	Temperatura de compactación	Incremento %
AC-30	156	146	
AC-30+ 1% Elvaloy	180	172	16.6%
AC-30+ 3% SBS	189	179	22%

El diseño de las mezclas revela que las variaciones en el contenido de asfalto óptimo para varían en 0.1 puntos porcentuales siendo el ligante modificado con Elvaloy el que requiere de una proporción menor dentro de la mezcla (5.9%), en relación al 6% de asfalto para la mezcla convencional y 6.1% para la mezcla con SBS.

El diseño Marshall encontró un incremento de la estabilidad hasta (14%) para la mezcla modificada con Elvaloy y (13%) en la mezcla modificada con SBS, frente a la estabilidad de 4,745lbs presentada por la mezcla convencional, cabe resaltar que todas las mezclas elaboradas superan, por mucho, la especificación mínima de estabilidad de 1,800 lbs.

Propiedad	Estándar	Unidad	Resultados			Especificación
Tipo de Asfalto			AC-30 Puma	ELVALOY	SBS	
Estabilidad	AASHTO T 245	lbs	4,745	5,421	5,345	1,800 mín.

**Fuente:** Extracto de la tabla 25

Los resultados del flujo obtenidos mediante el ensayo Marshall, revelan que las briquetas elaboradas con mezclas modificadas con polímeros experimentan mayor deformación, lo que es destacable, pues pese al incremento de la viscosidad y dureza del ligante modificado, la mezcla modificada es menos rígida y frágil que la mezcla convencional.

Propiedad	Estándar	Unidad	Resultados			Especificación
Tipo de Asfalto			AC-30 Puma	ELVALOY	SBS	
Flujo	AASHTO T 245	(1/100"mm)	8	11.9	12.7	8 – 14

**Fuente:** Extracto de la tabla 25

El ensayo de resistencia a la tensión diametral TSR, revela que las mezclas modificadas con SBS y Elvaloy, mejoran las propiedades de adhesión y cohesión de la mezcla, incrementado los valores de 76.5% de la mezcla convencional, hasta un 87.5 y 93.7% respectivamente, en esta prueba el polímero Elvaloy muestra superioridad, debido a su naturaleza de formar enlaces de hidrógeno con el

asfalto, lo que garantiza mayor adherencia con el mineral y por ende aumenta la impermeabilidad y el espesor de la película que recubre las partículas, siendo así, más resistente al ataque del agua.

Propiedad	Estándar	Unidad	Resultados			Especificación
Tipo de Asfalto			AC-30 Puma	ELVALOY	SBS	
Resistencia retenida	ASTM D4867	%	76.5	93.7	87.5	75% mín.

**Fuente:** Extracto de la tabla 25

Los resultados de esta investigación mostraron que la modificación del asfalto con polímeros puede utilizarse en mezclas asfálticas en caliente para mejorar el desempeño de los pavimentos asfálticos. De los 2 polímeros estudiados, el que determina un mejor desempeño es el Elvaloy, pues reduce el contenido de asfalto, incrementa la estabilidad y la resistencia a la acción del agua de la mezcla.

La realización de la presente investigación, trajo consigo un amplio desarrollo personal y profesional, al permitir el contacto directo y la vinculación a un medio competitivo con altos estándares de calidad, en el préstamo de servicios de laboratorio de suelos y mezclas asfálticas.

## Recomendaciones

---

Para producir mezclas asfálticas de alta calidad, se aconseja un control exhaustivo de las propiedades del agregado, procurando que estas se mantengan constantes en el ciclo de producción del proyecto, recordando que alrededor del 94% del volumen de la mezcla está constituido por el agregado.

Consideramos oportuno la caracterización de agregados provenientes de los principales bancos de materiales del país, para estudiar su comportamiento en conjunto con los asfaltos modificados.

En lo que concierne al asfalto y polímeros, se recomienda la utilización de materiales debidamente certificados, con el fin de garantizar la calidad del producto final.

Se sugiere realizar el estudio de los efectos de la modificación del asfalto, atendiendo a la gran variedad de polímeros que existen en el mercado, con el fin de encontrar materiales con mejores características y propiedades que no necesariamente sacrifiquen la economía del proyecto.

Las dosificaciones detalladas en esta investigación para la modificación del asfalto solo son válidas cuando se emplee el asfalto base AC-30 producido por PUMA Energy B.V y polímeros Elvaloy® 5170 y SBS de la marca Dupont y Dynasol respectivamente, de no ser así, se recomienda realizar dosificaciones de prueba en laboratorio, en base a las formulaciones típicas recomendadas por el fabricante, esto a fin de encontrar la formulación más viable técnica y económicamente.

Monitorear cuidadosamente las temperaturas de mezclado y compactación, a fin de lograr una buena homogenización en el proceso de mezclado y una densificación óptima en el proceso de compactación.

Los diseños elaborados en esta investigación solo son válidos cuando se utilice el agregado del banco de materiales “el Portillo” y ligantes asfálticos modificados en base a AC-30 producido por Puma Energy B.V y en las formulaciones asfalto-polímero detalladas en esta investigación, de no ser así, será necesario rediseñar la mezcla.

Recomendamos la implementación de las mezclas modificadas con polímeros principalmente en zonas con condiciones climáticas y de tránsito más desfavorables, específicamente el uso de mezcla asfáltica modificada con Elvaloy en zonas de alta pluviosidad, esto debido a que este polímero garantiza mayor resistencia a la acción del agua por su mayor adherencia con el mineral y la impermeabilidad de la película de asfalto.

Por constituir la presente investigación un esfuerzo basado en ensayos de laboratorio, resulta necesario que las entidades o instituciones responsables de la construcción y mantenimiento de vías en el país, lleven a la práctica estos resultados; es decir, confirmarlos mediante una fase de experimentación, con la construcción de un tramo de carpeta asfáltica en la vía; a fin de comprobar en obra, las mejoras de las propiedades de la mezcla obtenida en laboratorio, a través de la incorporación de polímeros modificadores de asfalto y poder realizar los ajustes que sean necesarios.

Cuando se piense en la utilización de un asfalto modificado con polímeros, se sugiere realizar un análisis de costos a largo plazo, es decir hacia el final de la vida útil del pavimento, pues aunque el <sup>1</sup>costo inicial del pavimento con asfalto modificado se eleva en un 20% con el polímero ELVALOY y un 26% con SBS, se ve compensado por la reducción del mantenimiento en el periodo de servicio y el incremento de su vida útil. (1 Datos suministrados por PAVINIC, S.A).

Monitorear y dar seguimiento a los tramos de carreteras que incorporan asfalto modificado con polímeros, tal como el Proyecto Nejapa- Nandaime elaborado por LLANSA que incorpora MAC con Elvaloy y el proyecto Pantasma-Wiwilí elaborado por ASTALDI que incorpora MAC con SBS, a fin de establecer

un análisis de costos más acertado incorporando costos de mantenimiento y vida útil.

Para complementar el proceso de Ensayo de las mezclas, se considera necesario incorporar la prueba de simulación con la Rueda de Hamburgo (AASHTO T-324), a las “Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC 2000”, a fin de tener una herramienta más para predecir el comportamiento de la mezcla, sobre todo en lo referente a deformaciones permanentes, donde la influencia de los polímeros en la mezcla brinda resultados muy significativos.

Este trabajo incluyó 2 tipos de polímeros que ya se han implementado en el país, pero aún se requiere de más investigación con distintos tipos de agregados y polímeros a fin de desarrollar especificaciones para la construcción de carreteras que incorporen estos materiales. Recomendamos este estudio como una guía que sirva de base para investigaciones futuras con otros materiales.

## Bibliografía

---

El concreto y otros materiales para la construcción, Universidad Nacional de Colombia, Libia Gutiérrez de López

Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes, NIC-2000, Ministerio de Transporte e Infraestructura, Año 2,000

Evaluación de Asfaltos Modificados en laboratorio con distintos polímeros, Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, Costa Rica, (Lanamme-UCR). Febrero 2007.

Evaluación de la factibilidad del uso en Costa Rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta, del tipo de cemento asfáltico por grado de desempeño (PG)-SUPERPAVE, Costa Rica, (Lanamme-UCR), Noviembre 2008

Experiencia Nicaragüense en la implementación de ensayos para la determinación del tipo de cemento asfáltico por grado de desempeño (PG)-SUPERPAVE, Costa Rica, (Lanamme-UCR) Julio 2013

Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico, Ing. Andrea Ulloa Calderón, Lanamme-UCR, septiembre 2011

Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras SIECA, Centroamérica, Marzo 2010

Manual del Asfalto, versión en castellano, The Asphalt Institute

Métodos de Diseño para Mezclas de Concreto Asfáltico y otros tipos de mezclas en caliente, MS-2, 6ta Edición, Instituto del Asfalto

Normas ASTM, American Society for Testing Materials

Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, Serie de Manuales N° 22 (MS-22), Instituto del Asfalto

Reología de ligantes asfálticos, Abel Gaspar-Rosas, (Lanamme-UCR), 2002

Transportation Materials, Thirty first edition, American Association of a State Highway and Transportation Officials

---

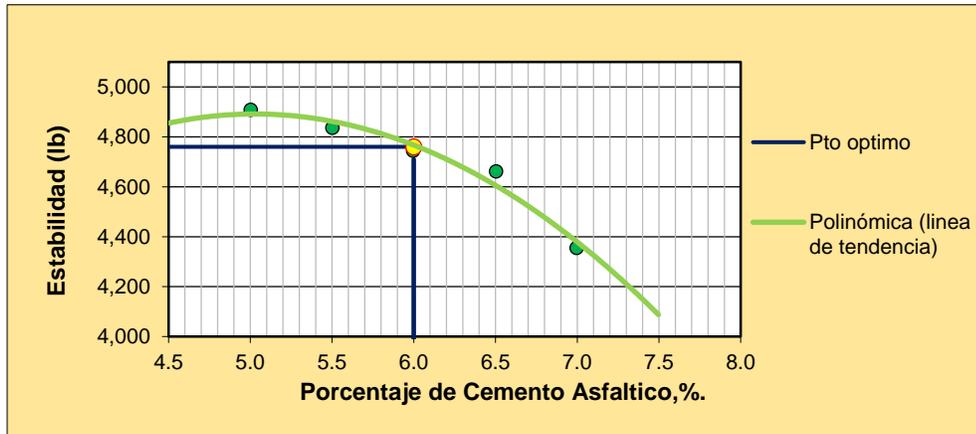
# **ANEXOS**

---

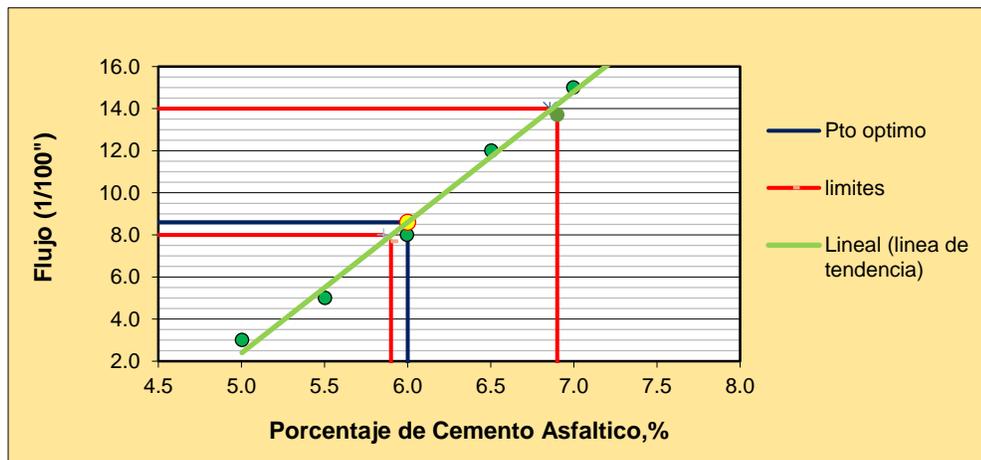
**ANEXO A. GRAFICAS MARSHALL DE  
LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS  
DISEÑADAS**

## Graficas Marshall Mezcla Asfáltica Convencional

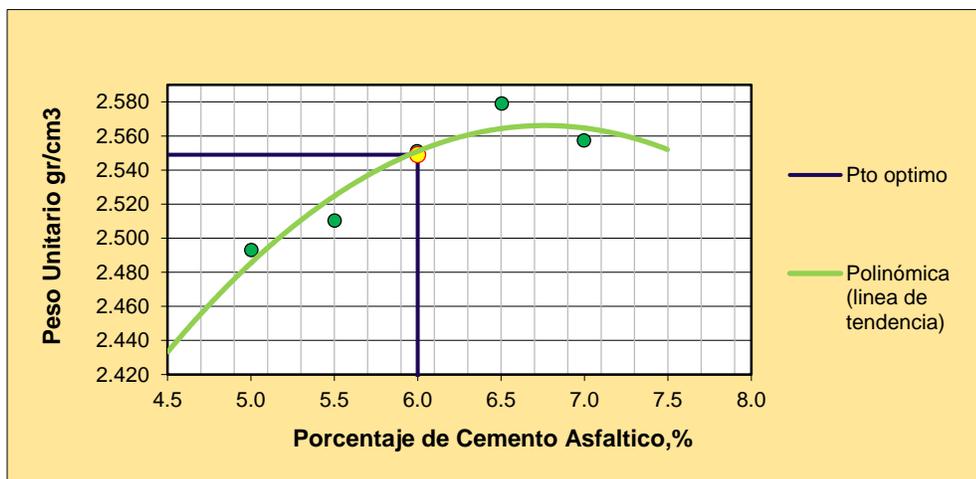
### Grafica 11. Estabilidad vs %asfalto Convencional



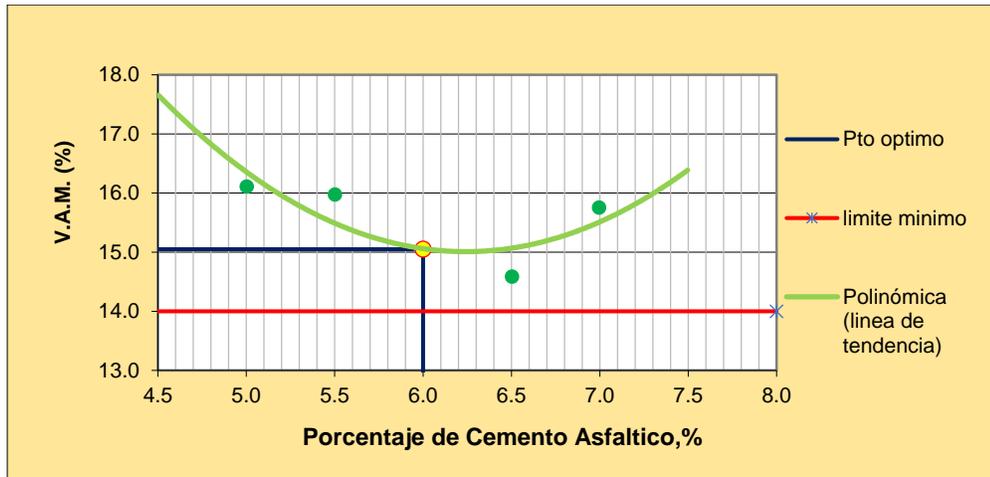
### Grafica 12. Flujo vs %asfalto Convencional



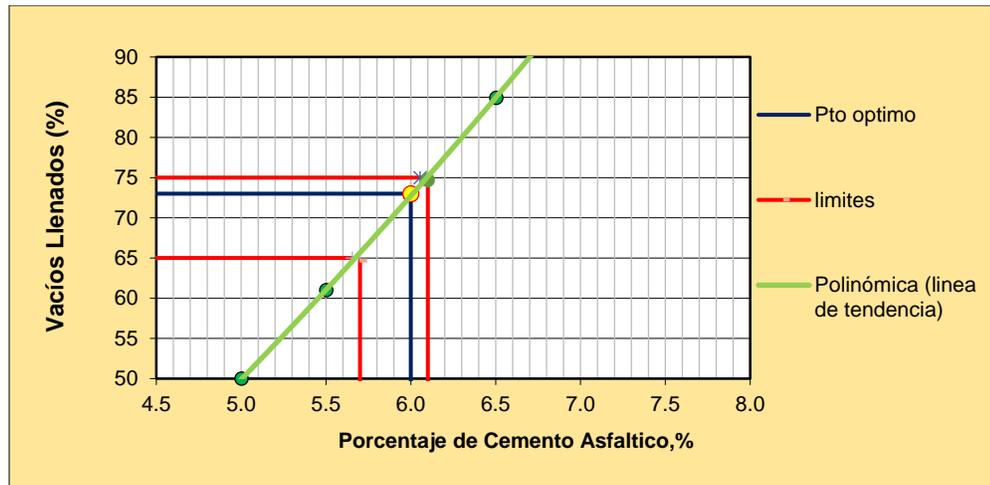
### Grafica 13. Peso unitario vs %asfalto Convencional



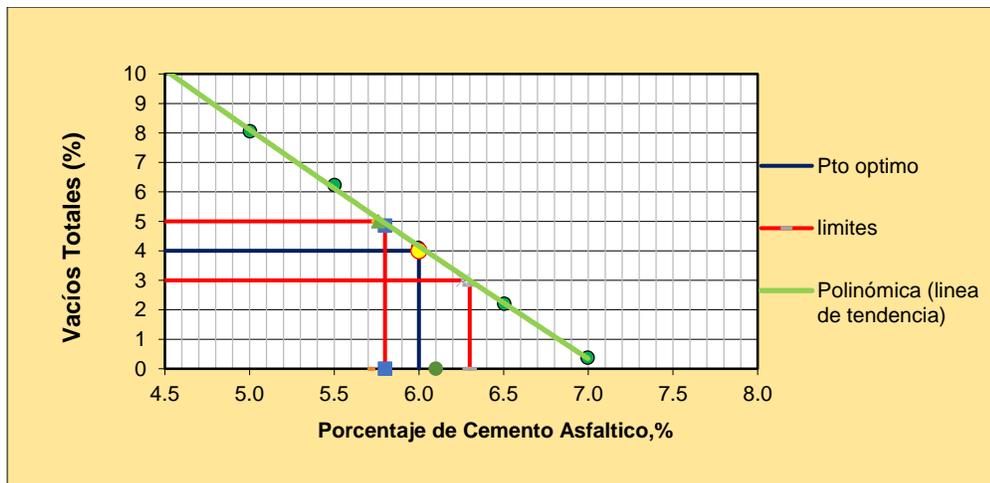
**Grafica 14. VAM vs %asfalto Convencional**



**Grafica 15. Vacíos Llenados vs %asfalto Convencional**

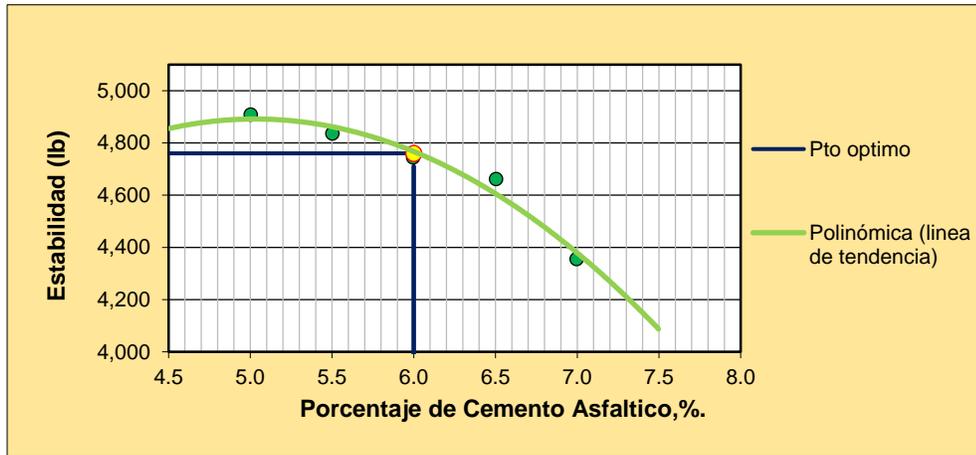


**Grafica 16. Vacíos totales vs %asfalto Convencional**

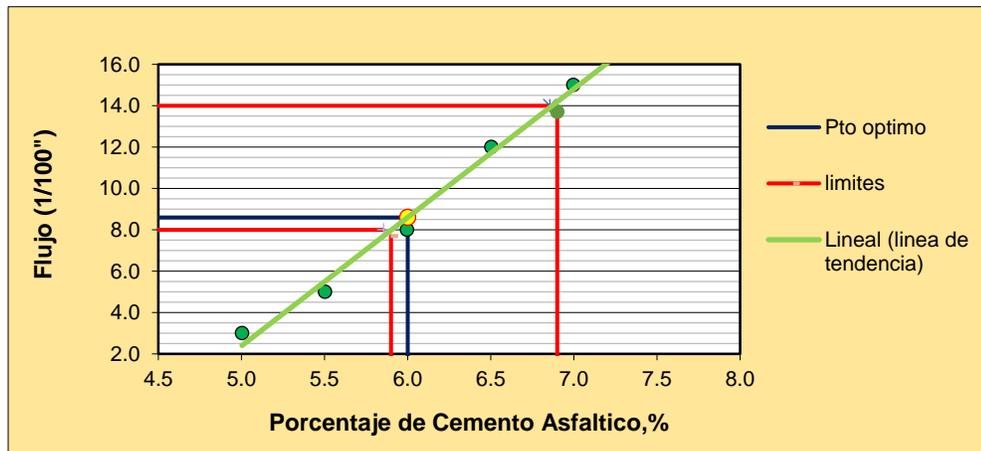


## Graficas Marshall Mezcla modificada con SBS

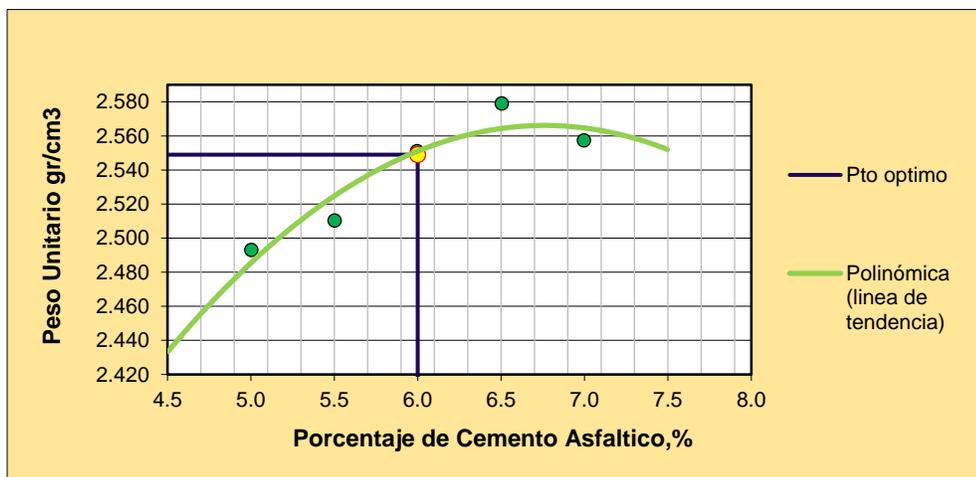
### Gráfica 17. Estabilidad vs %asfalto con SBS



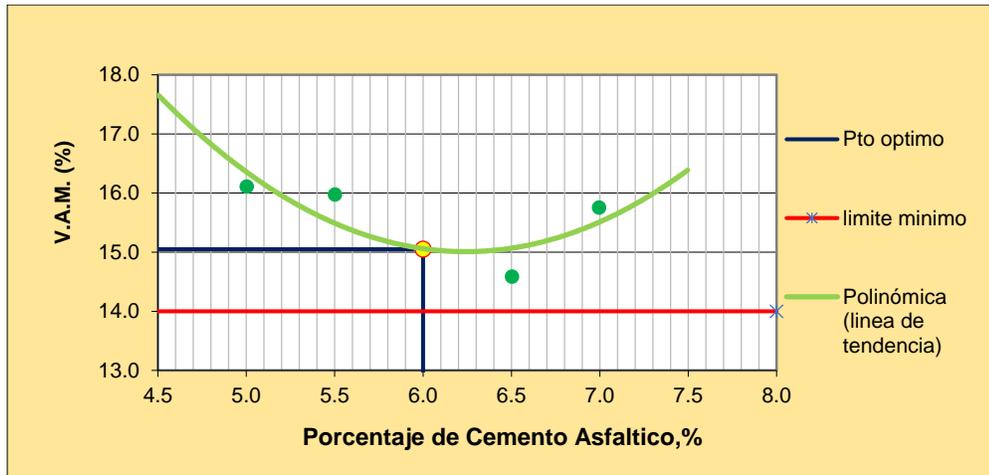
### Gráfica 18. Flujo vs %asfalto con SBS



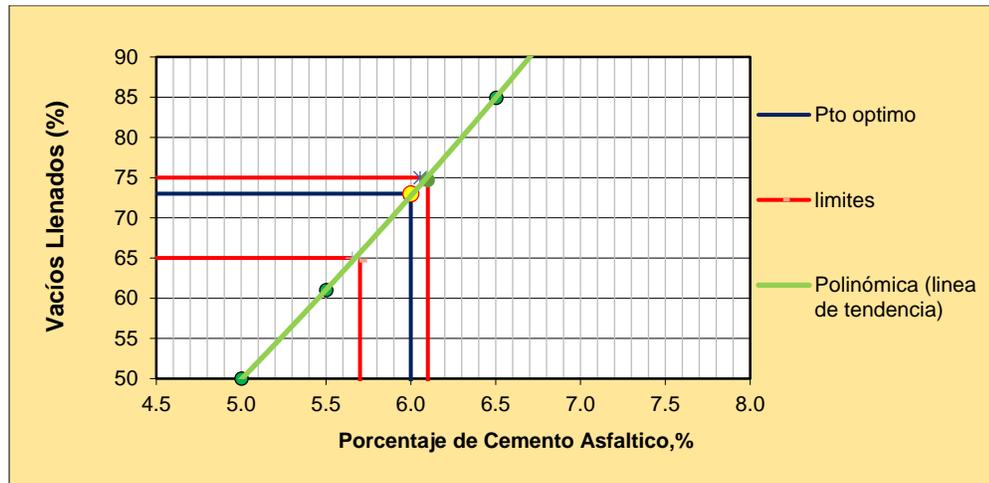
### Gráfica 19. Peso unitario vs %asfalto con SBS



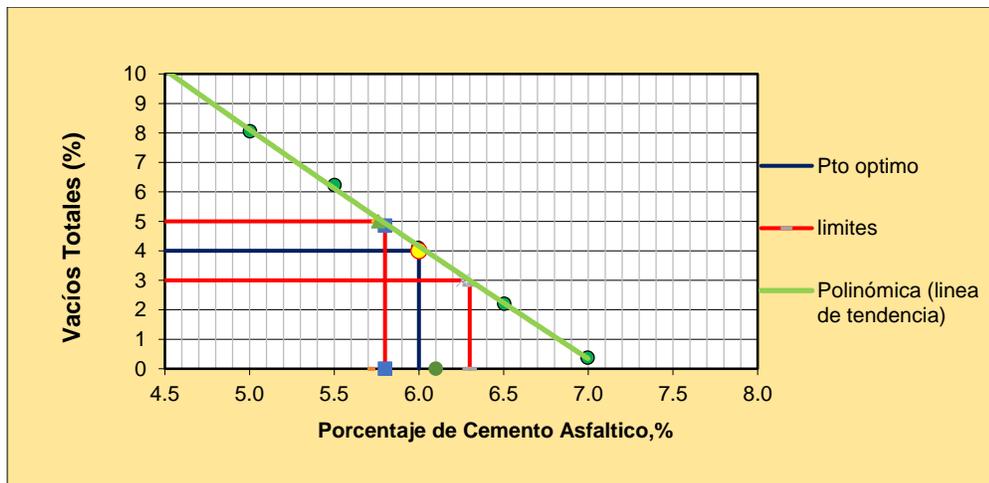
**Gráfica 20. VAM vs %asfalto con SBS**



**Gráfica 21. Vacíos llenados vs %asfalto con SBS**

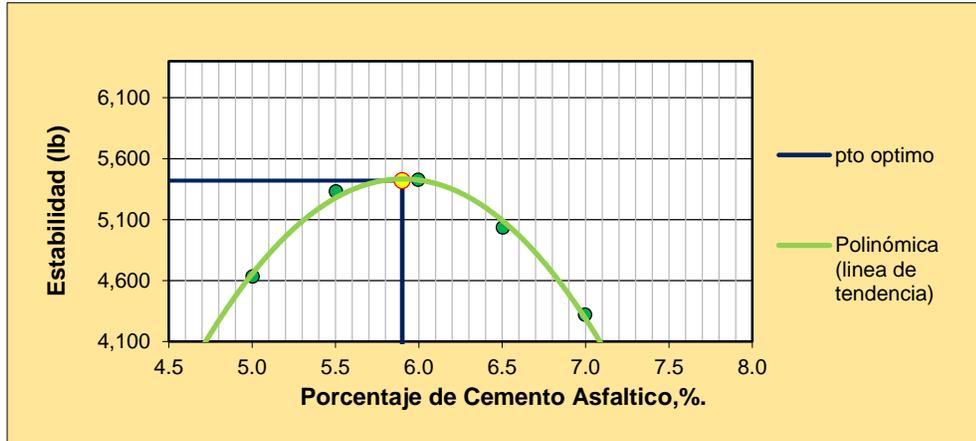


**Gráfica 22. Vacíos totales vs %asfalto con SBS**

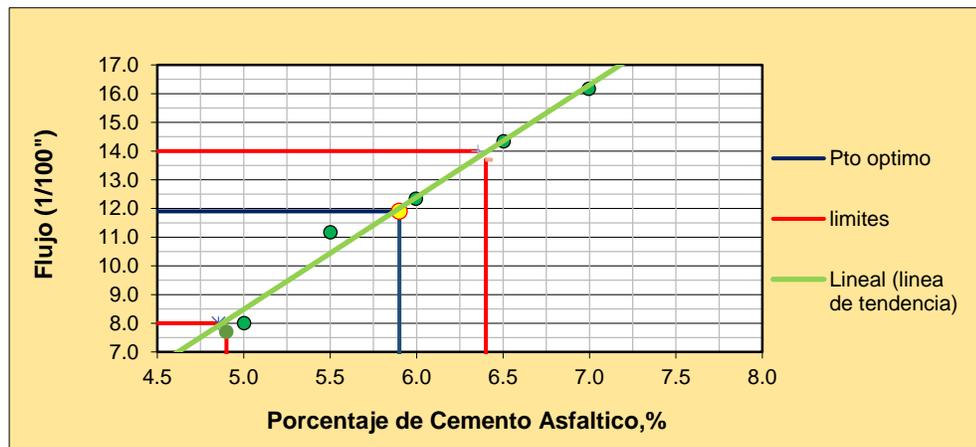


## Graficas Marshall Mezcla modificada con Elvaloy

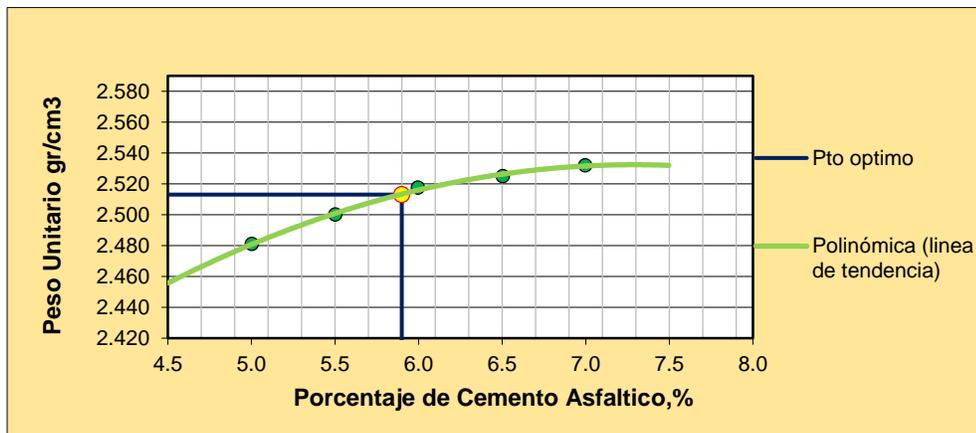
### Gráfica 23. Estabilidad vs %asfalto con SBS



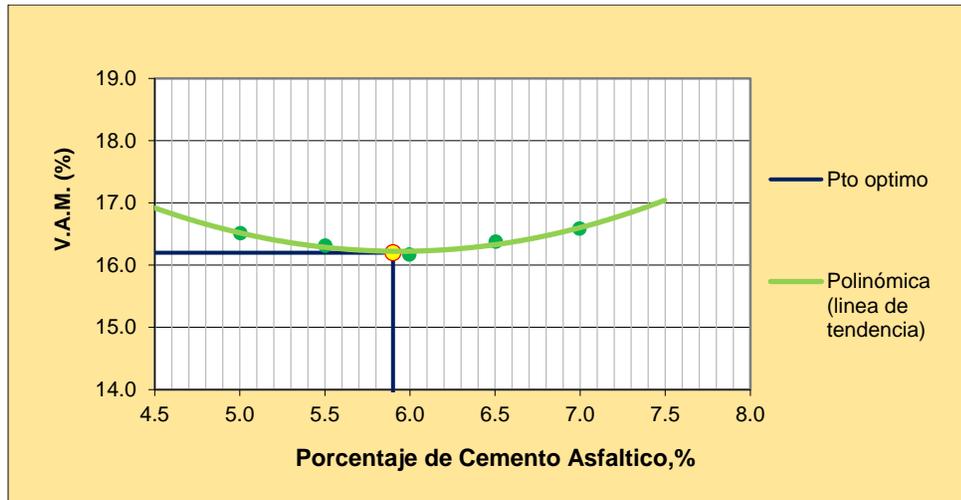
### Gráfica 24. Flujo vs %asfalto con SBS



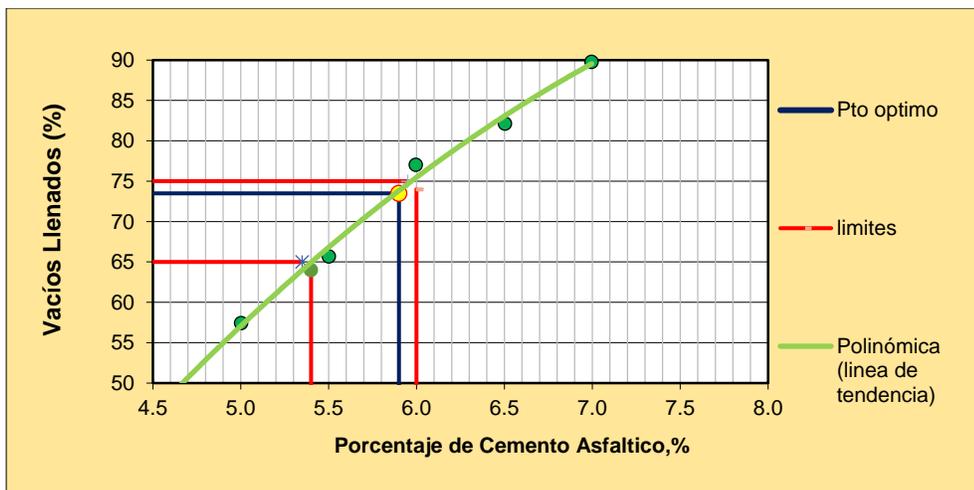
### Gráfica 25. Peso unitario vs %asfalto con SBS



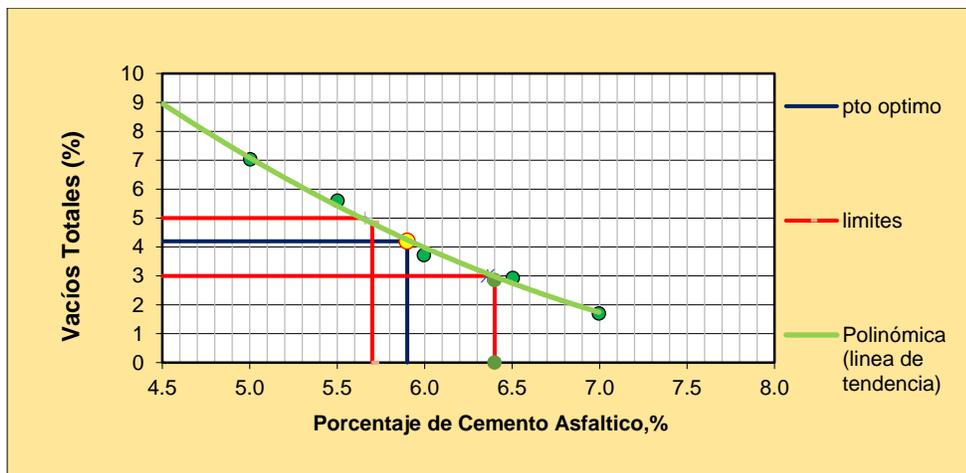
**Gráfica 26. VAM vs %asfalto con SBS**



**Gráfica 27. Vacíos llenados vs %asfalto con SBS**



**Gráfica 28. Vacíos totales vs %asfalto con SBS**



**ANEXO B. ENSAYO EN LA RUEDA  
DE HAMBURGO (HAMBURG WHEEL  
TRACKING)**

## **Ensayo en la Rueda de Hamburgo Basada en la Norma AASHTO T-324**

La prueba de Hamburgo tiene el objetivo de medir la resistencia a las roderas y a los desgranamientos de una mezcla asfáltica compactada en laboratorio o de corazones de 10 pulgadas extraídos directamente del pavimento. Sirve para identificar problemas de adherencia de los materiales pétreos con el cemento asfáltico y para identificar una mezcla con estructura mineral deficiente.

El interés y uso de equipos para pruebas de roderas, también llamados “rut testers” ha crecido en los últimos años en diferentes países del mundo. Este interés ha sido generado por varios factores, incluyendo la utilización de equipos por la ciudad de Hamburgo (Alemania), Georgia DOT, Colorado DOT, Texas DOT y por otros Departamentos de Transporte.



**Figura 22: Máquina de Hamburgo**

El Método de Hamburgo, conocido también como Sperbildungsgerat en Alemania, ha sido utilizado como una herramienta de especificación desde los años 70's, en Hamburgo, Alemania.

La prueba consiste en dos ruedas de acero de 47mm que se mueven axialmente sobre una muestra producida en laboratorio de 32x26 cm o en un corazón extraído del campo de 250 mm (10"). La carga en cada rueda es de 0.71 kN (158lb) con una presión de contacto de 217 psi. Los especímenes son probados típicamente a 50°C y sumergidos completamente en un baño de agua. El baño, así como se mantiene a temperatura de prueba, también determina la susceptibilidad de la mezcla al agua. Adicional se realiza un análisis volumétrico de la mezcla compactada.

La velocidad de la rueda es de 30 cm por segundo. La prueba se corre a 20,000 ciclos o a una deformación límite de 20mm. El criterio en falla en la especificación definida en Alemania (país de origen de la prueba) es de 4mm de deformación máxima en autopistas y 2.5 mm en zonas industriales. En Estados Unidos de Norteamérica el Departamento de Transporte de Colorado utiliza el criterio de falla de 10mm máximo para considerar una mezcla de buena calidad.

Además de aplicar esta prueba para el diseño de las mezclas, su aplicación se extiende hacia el control de calidad en campo ya que mediante la extracción y prueba de núcleos en el laboratorio mediante la prueba de Hamburgo, se puede conocer de manera indirecta las propiedades siguientes:

**Proceso Constructivo:** Al realizar el análisis volumétrico de los corazones extraídos en campo, es posible estimar sus propiedades volumétricas, esta estimación nos puede dar una idea clara si la mezcla fue compactada

adecuadamente y a la temperatura correcta y si los corazones tienen o no el contenido de asfalto óptimo de acuerdo al proyecto.

**Calidad de Materiales:** La prueba de simulación permite identificar materiales con problemas de adherencia de asfalto en presencia de agua, así como estructuras minerales deficientes y materiales blandos que con la acción del tráfico pueden ocasionar desgranamientos y/o deformaciones permanentes.

**Calidad del Diseño:** Si las propiedades de la mezcla asfáltica no son adecuadas en la prueba de simulación y estas propiedades coinciden con el diseño realizado, es decir si la granulometría, el contenido de asfalto y todas las demás propiedades coinciden con las presentadas en el diseño, quiere decir que durante el diseño no se tomó en cuenta el problemas de la deformación permanente y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla y será necesario cambiar los materiales o proponer algún aditivo de adherencia.

**Estimar el comportamiento futuro:** dependiendo de los resultados obtenidos en la prueba de simulación, es posible estimar si la mezcla es susceptible a las deformaciones permanentes y/o humead, si la mezcla presenta desprendimiento de material durante la prueba, muy probablemente tendrá desprendimientos y microfisuramiento en el corto plazo, y que el pavimento no cumpla con la expectativa de servicio.

**ANEXO C: FOTOGRAFÍAS DE  
ENSAYOS, MATERIALES Y EQUIPOS  
RECOPIADAS POR LOS AUTORES,  
DURANTE EL PROCESO DE  
INVESTIGACIÓN.**

## Caracterización de los ligantes asfálticos



**Figura 23: Realizando Ensayo de Recuperación Elástica por Torsión, Laboratorio SOLTEC**



**Figura 24: Ensayo de Penetración normal, Laboratorio SOLTEC**



**Figura 25: Determinando el punto de ablandamiento del asfalto, Laboratorio SOLTEC**

### **Diseño y Evaluación de desempeño de las mezclas**



**Figura 26: Máquina de Vacíos RICE**



**Figura 27: Determinación de la Gravedad Teórica Máxima, INSUMA.**



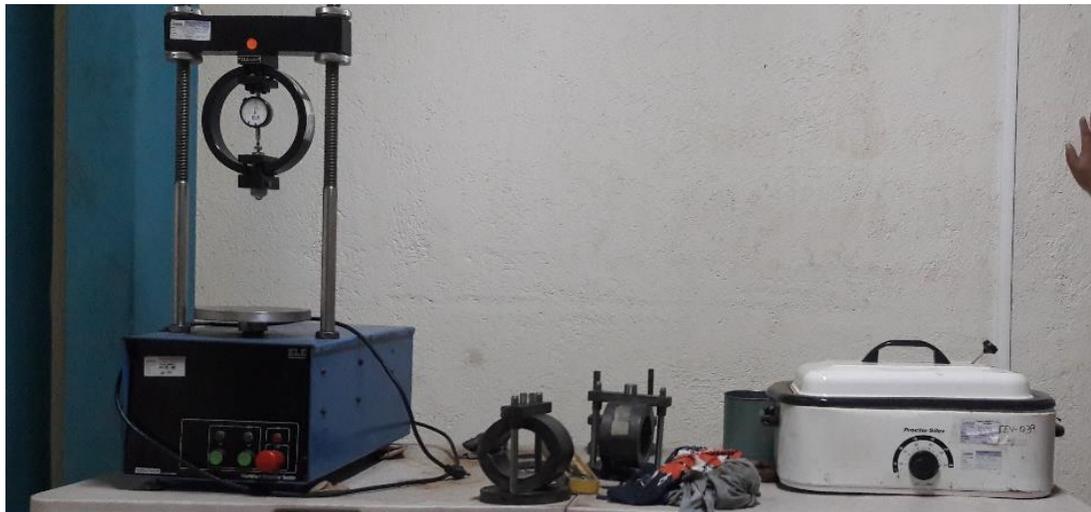
**Figura 28: Verificación de la temperatura de mezclado. Figura 29: Proceso de mezclado de briquetas, Laboratorio INSUMA**



**Figura 30: Moldes de Compactación Marshall, Laboratorio INSUMA**

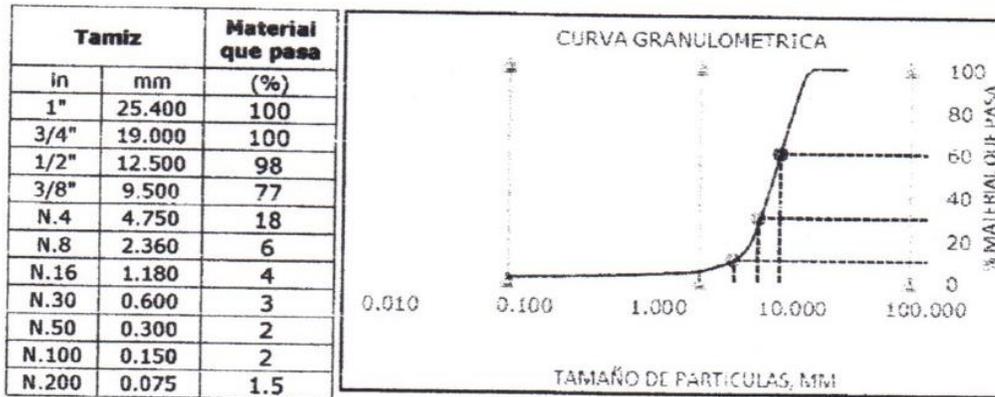
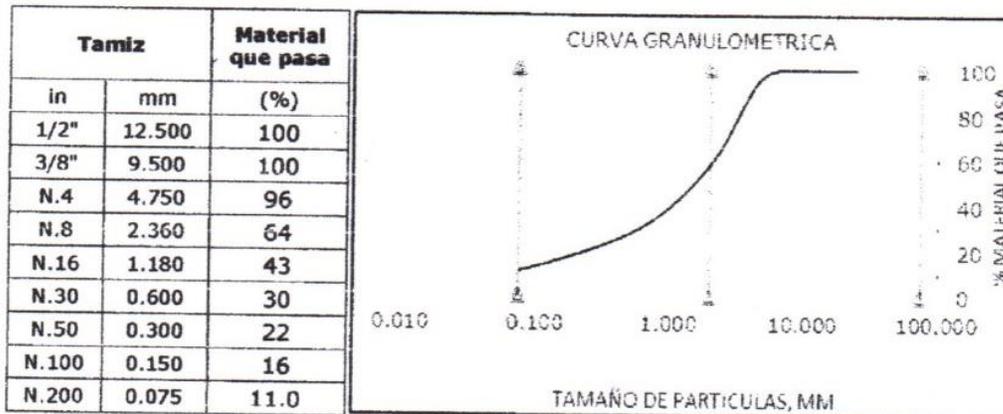


**Figura 31: Proceso de compactación y Extracción de briquetas**



**Figura 32: Equipo Marshall, Mordazas y baño maría**

# **ANEXO D: SOPORTES DE LA INFORMACIÓN PRESENTADA**

**PAVINIC****PAVIMENTOS DE NICARAGUA, S.A.  
(PAVINIC, S.A.)**Km. 14.5 carretera a Masaya, entrada a Veracruz 9 Km. Al este.  
Teléfono: 2279-2103, 2279-2106  
E-mail: ventas@pavinic.com.ni**Gráfico 1: Granulometría del agregado con tamaño máximo de 19.0 mm (Gruoso), AASHTO T-27:****Gráfico 2: Granulometría del agregado con tamaño máximo de 9.5 mm (Fino), AASHTO T-27:**

**4.2- ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS INDIVIDUALES DE ACEPTACION DEL AGREGADO GRUESO:**

Propiedad	Fración ensayada	Estándar	Unidades	resultado
Peso unitario seco compacto:	Toda la muestra	AASHTO T 19	(Kg/m <sup>3</sup> )	1,511
Peso unitario seco suelto:	Toda la muestra	AASHTO T 19	(Kg/m <sup>3</sup> )	1,369
Una o más caras fracturadas:	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 5821	(%)	99.4
Dos o más caras fracturadas:	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 5821	(%)	99.4
Partículas planas:	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 4791	(%)	7.0
Partículas alargadas:	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 4791	(%)	0.0
Partículas planas y alargadas:	12.5 a 4.75 mm	ASTM D 4791	(%)	2.5
Resistencia al desgaste y abrasión:	9.5 a 4.75 mm	AASHTO T 96	(%)	31.3
Sanidad de la fracción gruesa*:	12.5 a 4.75 mm	AASHTO T 104	(%)	0.14
Sanidad de la fracción fina*:	4.75 a 2.36 mm	AASHTO T 104	(%)	0.28
Durabilidad en el agregado	12.5 a 4.75 mm	AASHTO T 210	(%)	93.0

\* De acuerdo con la granulometría de este agregado grueso el ensayo de Sanidad es aplicable a la fracción gruesa (mayor de 9.5 mm) y a la fina (menor de 4.75 mm).

**4.3- ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS INDIVIDUALES DE ACEPTACION DEL AGREGADO FINO:**

Propiedad	Fración ensayada	Estándar	Unidades	resultado
Índice de plasticidad:	Menor de 0.425 mm	ASTM D 4318	-	N.P
Peso unitario seco compacto:	Toda la muestra	AASHTO T 19	(Kg/m <sup>3</sup> )	1,962
Peso unitario seco suelto:	Toda la muestra	AASHTO T 19	(Kg/m <sup>3</sup> )	1,729
Equivalente de arena:	Menor de 4.75 mm	AASHTO T 176	(%)	71
Sanidad de la fracción fina:	9.5 a 0.3 mm	AASHTO T 104	(%)	5.76
Impurezas orgánicas	4.75	AASHTO T 21	-	Color 2

*[Handwritten signature]*



**4.4- GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS INDIVIDUALES:**

**Agregado con tamaño máximo de 19.0 mm (Grueso):**

Propiedad	Fracción ensayada	Porcentaje (%)	Estándar	Unidades	Resultados
Gravedad específica aparente:	19.0 mm a 2.36 mm	94	AASHTO T 85	-	2.935
Gravedad específica aparente:	Menor de 2.36 mm	6	AASHTO T 84	-	2.978
<b>Gravedad específica aparente (Ponderada):</b>		<b>100</b>	-		<b>2.937</b>
Gravedad específica bruta:	19.0 mm a 2.36 mm	94	AASHTO T 85	-	2.777
Gravedad específica bruta:	Menor de 2.36 mm	6	AASHTO T 84	-	2.901
<b>Gravedad específica bruta (Ponderada):</b>		<b>100</b>	-		<b>2.784</b>
Absorción de agua:	19.0 mm a 2.36 mm	94	AASHTO T 85	(%)	1.9
Absorción de agua:	Menor de 2.36 mm	6	AASHTO T 84	(%)	0.9
<b>Absorción de agua (Ponderada):</b>		<b>100</b>	-	(%)	<b>1.8</b>

**Agregado con tamaño máximo de 9.5 mm (Fino):**

Propiedad	Fracción ensayada	Porcentaje (%)	Estándar	Unidades	Resultados
Gravedad específica aparente:	9.5 mm a 2.36 mm	36	AASHTO T 85	-	2.981
Gravedad específica aparente:	Menor de 2.36 mm	64	AASHTO T 84	-	2.978
<b>Gravedad específica aparente (Ponderada):</b>		<b>100</b>	-	-	<b>2.979</b>
Gravedad específica bruta:	9.5 mm a 2.36 mm	36	AASHTO T 85	-	2.797
Gravedad específica bruta:	Menor de 2.36 mm	64	AASHTO T 84	-	2.901
<b>Gravedad específica bruta (Ponderada):</b>		<b>100</b>	-	-	<b>2.863</b>
Absorción de agua:	9.5 mm a 2.36 mm	36	AASHTO T 85	(%)	2.2
Absorción de agua:	Menor de 2.36 mm	64	AASHTO T 84	(%)	0.9
<b>Absorción de agua (Ponderada):</b>		<b>100</b>	-	(%)	<b>1.1</b>



DuPont™ Elvaloy® 5170

Hoja Técnica de Elvaloy® RET

Descripción del Producto

DuPont™ Elvaloy® 5170 es un terpolímero elastomérico reactivo (RET) que puede ser utilizado para modificar las propiedades de la carpeta asfáltica utilizada al pavimentar.

El DuPont® 5170 es un terpolímero químicamente reactivo fabricado por DuPont para uso con asfalto. Es efectivo cuando se utiliza con un amplio rango de asfaltos.

El asfalto modificado con polímero (PMA) es muy estable y puede ser almacenado por largos periodos de tiempo.

Estátus del Material

- Desarrollo: Activo

Disponibilidad

- Global

Usos

Características

Modificación de Asfalto

El Elvaloy® 5170 es un copolímero que ofrece propiedades SHRP de alta temperatura y flexibilidad a baja temperatura dentro de los asfaltos. Una vez mezclado, el Elvaloy® reacciona y nunca se separa ni segrega. Las propiedades se mantienen similares arriba, en medio y abajo sin importar el tiempo que lleve almacenado.

Propiedad	Valor Típico	Unidades	Método ASTM
Resistencia a Tensión	2177	PSI	D638
Elongación a Ruptura	719	%	D638

Aplicaciones

Modificación de Asfalto (bitumen)

Físicas

- \* Densidad
- \* Índice de Fluidez (190°C/2.16kg)

Valores Nominales

0.95 g/cm³  
8 g/10 min

Método(s) de Prueba

ASTM D792      ISO 1183  
ASTM D1238      ISO 1133

Térmicas

- \* Punto de Fusión (DSC)
- Punto de Congelamiento (DSC)

Valores Nomiales

82°C (180°F)  
62°C (144°F)

Método(s) de Prueba

ASTM D3418      ISO 3146  
ASTM D3418      ISO 3146

General

\* Temperatura Máxima de Procesamiento

220°C (428°F)

Información Estatus FDA

Actualmente el Elvaloy® 5170 no cuenta con ninguna acreditación de US-FDA para contacto directo ni indirecto con alimentos.

Información Reguladora

Para información sobre cumplimiento de regulaciones fuera de EEUU consultar a su representante de DuPont local.

Seguridad y Manejo

El Boletín de Uso Seguro, la hoja de seguridad del producto e información más detallada en procesos industriales para resinas Elvaloy® están disponibles con el representante de DuPont Packaging and Industrial Polymers.

Lea y Entienda la Hoja de Seguridad (MSDS) antes de utilizar este producto.

Para mayor información sobre la Marca Registrada® DuPont™:

DuPont Global

email: [info@dupont.com](mailto:info@dupont.com)

[www.dupont.com](http://www.dupont.com)

**Asia Pacific** Shanghai 86-21-6386 or 6366; **Australia** Bayswater, Victoria 3-9721-5900; **Brazil/South America** Sao Paulo 55-11-4166-8542 / 8393; **Canada** Mississauga, Ontario 905-821-5953; **Europe** Geneva, Switzerland 022-717-51-11; **Japan** Mitsui-DuPont Polychemicals Co., Ltd., Tokyo 813-3580-5531; **Mexico/Central America** Mexico City 52-55-57-22-1000; **United States** Wilmington, Delaware, 800-438-7225 (toll free), 302-774-1161

<http://elvaloy.dupont.com>

*Los datos técnicos aquí contenidos son guías para el uso de resinas DuPont. La información aquí contenida está basada en pruebas y en información que se consideran confiables; no obstante, los usuarios no deberán depender de ella absolutamente para aplicaciones específicas debido a que sus propiedades de desempeño podrían variar de lote a lote y según las condiciones de procesamiento. Se ofrece y se acepta bajo riesgo del usuario, el mismo debiendo obtener confirmación independiente sobre su validez y aplicabilidad en casos específicos. DuPont no ofrece ninguna garantía sobre resultados y no asume ninguna obligación ni responsabilidad en relación con dicha información.*

*Esta publicación no deberá tomarse como una licencia para operar bajo - ni como una recomendación para la violación de - ninguna patente.*

**PRECAUCIÓN:** No utilizar en aplicaciones médicas que involucren implantes permanentes en el cuerpo humano. Para otras aplicaciones médicas, ver la Declaración Médica de Precaución DuPont H-50102.

El Óvalo DuPont, DuPont™, los Milagros de la Ciencia™ y Elvaloy® son marcas comerciales o marcas comerciales registradas de DuPont o de sus afiliadas.

## FICHA TÉCNICA

El **Ácido polifosfórico** se emplea como catalizador en la modificación de asfaltos con Elvaloy 4170® para mezcla en caliente. Reacciona desarrollando un encadenamiento químico entre el polímero y el asfalto. También puede emplearse como endurecedor para la fabricación de asfaltos de baja penetración o altas viscosidades, permitiendo formular, por ejemplo, un AC-30 partiendo de un AC-20.

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Aspecto a 25°C	Líquido viscoso
Olor Característico	Irritante
Color	Blanco cristalino

NOTA: Las características son típicas. Estas pueden variar sin que se vea afectado el desempeño del producto.

### FORMULACIONES TÍPICAS<sup>(1)</sup>

Asfalto Virgen	100%	1000 Kg.
Elvaloy®	1.0-1.5%	10-15 Kg.
Ácido Polifosfórico	0.15-0.2%	1.2-2 Kg.
AC-30 (partiendo de AC-20)		
Ácido Polifosfórico	0.3-0.6%	3-6 Kg.

<sup>(1)</sup> Estas son solo formulaciones típicas. Siempre es recomendable realizar formulaciones de laboratorio para determinar la dosificación a emplear.

NOTA: En caso de contacto por cualquier vía proporcionar atención médica inmediata a la víctima. Es obligación del usuario el determinar las condiciones de uso seguro de éste producto.



Agua Marina 3042, Fracc. Agua Blanca C.P. 45235 Zapopan, Jalisco, México.  
 ventas@surfax.com.mx www.surfax.com.mx Tel: +52 (33) 3684 7304  
 01 (800) 024 7873

## ÁCIDO POLIFOSFÓRICO

Catalizador para modificar y/o endurecer asfaltos para mezcla en caliente.

### PRESENTACIÓN

Porrones plásticos de 38.1 Kg. y en otras regiones 40 Kg. (Peso neto)

### MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Mantener a la sombra, bajo techo y siempre en su envase, cerrado.

### RECOMENDACIONES DE USO

Agregar lentamente sobre el asfalto evitando salpicaduras, de preferencia por medios mecánicos. Nunca agregue el ácido polifosfórico si el polímero no se ha disuelto completamente.

### GUÍA RÁPIDA DE SEGURIDAD

(Para mayores referencias solicite MSDS Ácido Polifosfórico)

Es un producto ácido que provoca irritación de la piel, quemaduras, lesiones graves y permanentes por contacto; por esto debe evitarse todo contacto con la piel, ojos y ropa, empleando equipo de protección adecuado como gafas, guantes, botas y mandil.

Puede no ocasionar sensación de irritación o quemadura al contacto, lo que puede derivar en un retraso en la atención médica. La inflamación se caracteriza por enrojecimiento, picazón, escamación y ocasionalmente empollas.

En caso de contacto con ojos o piel se recomienda lavar de inmediato con un chorro directo de agua por un periodo de 15 minutos y CONSULTAR A UN MÉDICO INMEDIATAMENTE.

NOTA: En caso de contacto por cualquier vía proporcionar atención médica inmediata.

### NOTA IMPORTANTE

La información y sugerencias son hechas con base en la experiencia e investigaciones realizadas en GRUPO SURFAX®, y son ciertas y comprobables, pero esta información y sugerencias no constituyen una garantía, por lo cual no asumimos ninguna responsabilidad debido a que GRUPO SURFAX® no tiene control sobre las condiciones bajo las cuales el producto es transportado, usado o aplicado. El usuario debe determinar por él mismo mediante pruebas preliminares, las condiciones apropiadas para su aplicación.

CONTACTE A SU ASESOR TÉCNICO COMERCIAL.  
 CONSULTE LA HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD.

# Solprene® 411

## DESCRIPCION

Solprene 411 es un copolímero termoplástico con relación de composición porcentual butadieno/estireno de 70/30, polimerizado en solución y con estructura radial.

Este producto se encuentra disponible en:

- S 411 Grumo poroso
- S 411C Peleta porosa
- S 411M Polvo con carbonato cálcico como antiadherente

## DATOS TÉCNICOS

<i>Propiedades del Polímero</i>	<i>Valor típico</i>	<i>Método de ensayo</i>
Viscosidad en tolueno 5.23% / 25°C, cSt	28	NM 300-11
Materia volátil, % máx.	0.75	ASTM D-5668
Estireno total (sobre polímero), %	30	ASTM D-5775
Insolubles, %	0.1	NM 300-15

<i>Propiedades Modificadas del Betún</i>	<i>Valor típico</i>	<i>Método de ensayo</i>
En membranas estancas al agua (150/200 betún + 12% polímero)		
Temperatura Anillo & Bola, °C	>130	ASTM D-36
Penetración a 25 °C, 1/10 mm	<50	ASTM D-5-86
Viscosidad a 180 °C, cP	2200	---
Flexibilidad en frío, °C	<-30	MA 04-5-009

## APLICACIONES

- » Adhesivos
- » Asfalto
- » Compuestos
- » Techos

[www.dynasolelastomers.com](http://www.dynasolelastomers.com)

Enero, 2014

La información contenida en este documento es propiedad de Grupo Dynasol y no deberá ser copiada ó discutida con terceros sin permiso escrito de la compañía.

The logo for Dynasol, featuring a stylized square icon composed of diagonal lines to the left of the word "Dynasol" in a bold, sans-serif font.

HOWA TECHNICAL BROCH

REFINERIA MANAGUA  
 CERTIFICADO DE CALIDAD



ASFALTO AC-30 TABLA 1

Batch No.	AC-30-180816 ✓
Tanque No.	107 ✓
Fecha Reporte	01-Aug-18 ✓
Fecha Muestra	01-Aug-18 ✓
Hora Muestra	8:00 AM ✓
Barrilaje (bb/s)	9,597 ✓

De acuerdo con especificación ASTM D3381-13 (TABLA 1)

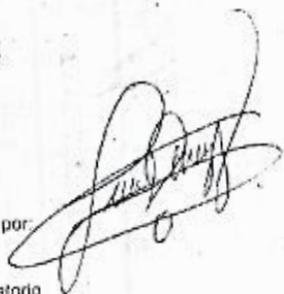
ESPECIFICACION	METODO	MIN	MAX	RESULTADO
Viscosidad Absoluta TFOT a 140 °F, Pa.s	ASTM D 2171		1500	549.5 ✓
Viscosidad Absoluta a 140 °F, Pa.s	ASTM D 2171	240	360	277.2 ✓
Gravedad API 60° F Picnómetro	ASTM D 70	Reportar	Reportar	6.3 ✓
Ductilidad a 77°F, 5cm/min, TFOT, cm	ASTM D 113	15		150 ✓
Punto Inflamación Cleveland Open Cup, °C	ASTM D 92	230		256 ✓
Viscosidad Cinemática a 135 °C, mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 2170	250		484 ✓
Penetración a 25° C(77°F), 100g, 5s	ASTM D 5	30		54 ✓
Punto de Ablandamiento, °C	ASTM D 36	Reportar	Reportar	48.4 ✓
Solubilidad en Tricloroetileno, % peso	ASTM D 2042	99.0		100 ✓
Gravedad Especifica a 60° F Picnómetro	ASTM D 70	Reportar	Reportar	1.027 ✓

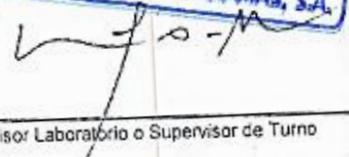
Este certificado tiene validez sólo para el barrilaje descrito y a partir de la hora que fueron tomadas las muestras.  
 Prohibida su reproducción parcial.

04/09/18  
 al 24,789  
 400t  
 Clansa  
 Diapir  
 15,25 16,10.

SALIDA LOADING RACK  
 04 SEP 2018  
 PUMA ENERGY BAHAMAS S.A.

PUMA ENERGY BAHAMAS, S.A.  
**ORIGINAL**  
 PUMA ENERGY BAHAMAS, S.A.

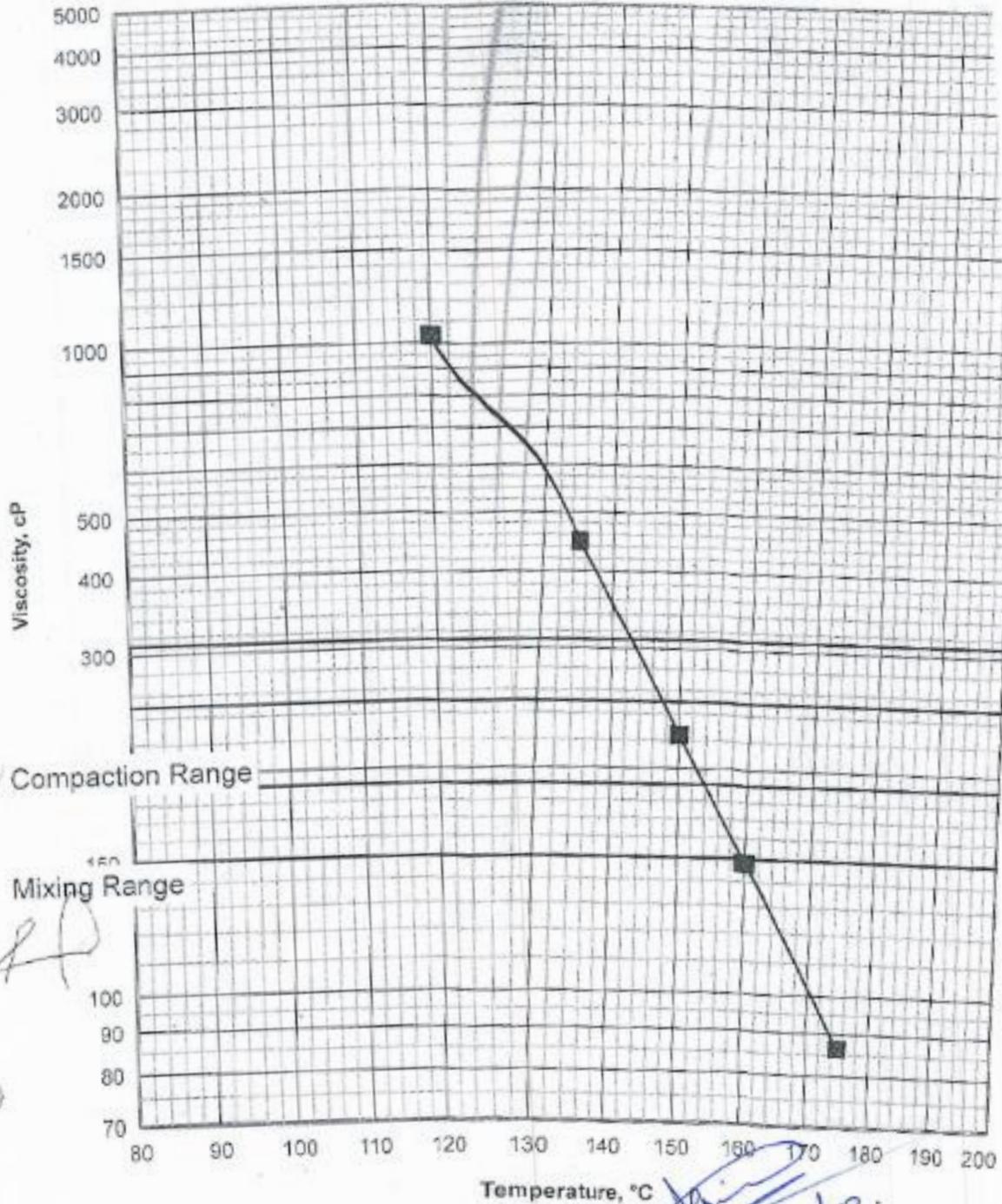
Revisado por: 

  
 Supervisor Laboratorio o Supervisor de Turno



cc: Laboratorio  
 Proceso

TK-107 01 AGOS 2018 BATCH: AC30-180816



*[Signature]*  
04/09/18



## INFORME DE ENSAYO

### 1. Información del Cliente

**Nombre:** Participantes Monográficos

**Proyecto:** "Evaluación del desempeño de mezclas con asfaltos modificados"

**Orden de Producción:** Producción especial, Asfalto Modificado con SBS

### 2. Métodos de Ensayo

ASTM D 5 / ASSHTO T 49. Penetración a 25°C y 4°C

ASTM D 92 / ASSHTO T 48. Punto de Inflamación para Asfaltos.

ASTM D 2872 / ASSHTO T 240. Efecto del Calentamiento y Aire en asfaltos con RTFO.

ASTM D 4402 / ASSHTO T 316 y T 228. Viscosidad Dinámica en Asfaltos.

ASTM D 36 / ASSHTO T 53. Punto de Ablandamiento.

ASTM D 6084. Recuperación Elástica por Ductilómetro.

ASTM D 7175. Determinación de las propiedades reológicas de ligantes asfálticos mediante el Reómetro de Corte Dinámico

ASTM D 6521 / AASHTO R 28. Envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos mediante el dispositivo de envejecimiento presurizado (PAV)





### 3. Resultados

Tabla N°1: Ensayos al Asfalto Original					
Ensayo	Método de Ensayo		Resultados	Unidades	ASTM D 5892, Tabla 1. IV - F
	ASTM	ASSHTO			
Recuperación Elástica por Torsión	-	-	65	°	-
Penetración a 25°C	D 5	T 49	38	dmm	35 Mín
Punto de Ablandamiento	D 36	T 53	57	°C	Reportar
Viscosidad Dinámica a 135°C	D 4402	T 136	1756	cP	3000 Máx
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 76°C [G* / Sen δ]	D 7175	-	1.507	KPa	-

Tabla N°2: Ensayos al Asfalto Envejecido en el RTFO				
Ensayo	Método de Ensayo	Resultados	Unidades	ASTM D 5892, Tabla 1. IV - F
	ASTM / AASHTO			
Recuperación Elástica a 25°C	ASTM D 6084	80	%	70 Mín
Penetración a 4°C, 200g por 60s	ASTM D 5	13.8	dmm	10 Mín
Pérdida de Masa	ASTM D 2872	0.1424	%	1%Máx
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 76°C [G* / Sen δ]	ASTM D 7175	3.666	KPa	2.2 Mín

Tabla N°3: Ensayos al Asfalto Envejecido PAV				
Ensayo	Método de Ensayo	Resultados	Unidades	ASTM D 6521
	ASTM			
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 31°C [G* / Sen δ]	D 7175	1618	Kpa	5,000 Máx

#### ➤ Temperatura de Compactación y mezclado

°C	cP	Pa.s
120	4166	4.166
135	1756	1.756
150	897	0.897
165	506.3	0.5063
180	308.2	0.3082

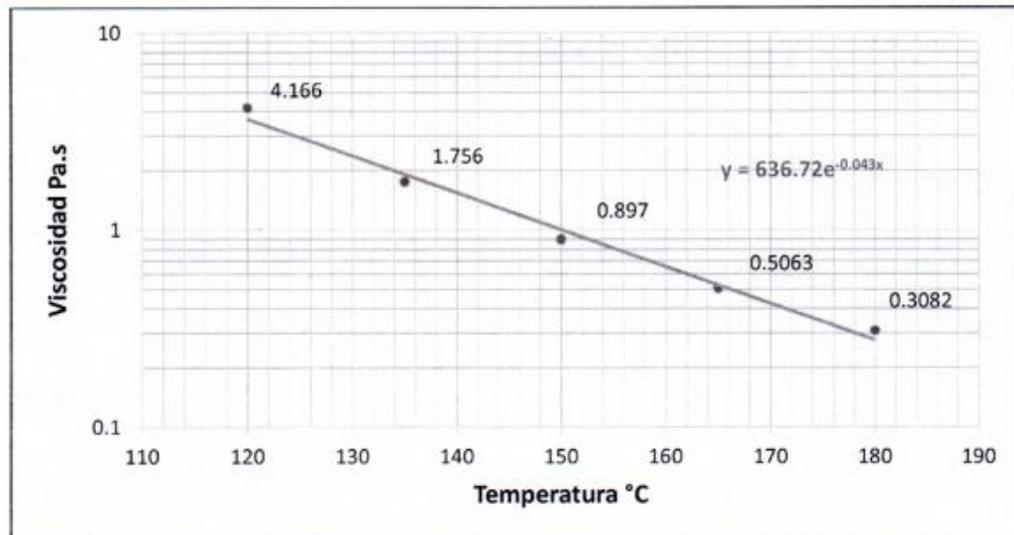




Soluciones Técnicas Sol, S. A.  
Km 14 Carretera a Masaya, 8.5 km hacia Veracruz, contiguo a Proinco.  
Tel.: (505) 2279-2109; e-mail: calidad@plantasoltec.com



Temperatura de compactación	Temperatura de mezclado
177	189
182	194



**Elaborado por:**  
Eveling Vanegas Narváez  
Control de Calidad  
calidad@plantasoltec.com  
Tel: 2279-2109



Firma del Gerente de Planta ó Gerente General



Soluciones Técnicas Sol, S. A.  
Km 14 Carretera a Masaya, 8.5 km hacia Veracruz, contiguo a Proinco.  
Tel.: (505) 2279-2109; e-mail: calidad@plantasoltec.com



## INFORME DE ENSAYO

### 1. Información del Cliente

**Nombre:** *Participantes Monográficos*

**Proyecto:** *"Evaluación del desempeño de mezclas con asfaltos modificados"*

**Orden de Producción:** *Producción especial, Asfalto Modificado con Elvaloy*

### 2. Métodos de Ensayo

ASTM D 5 / ASSHTO T 49. Penetración a 25°C y 4°C

ASTM D 92 / ASSHTO T 48. Punto de Inflamación para Asfaltos.

ASTM D 2872 / ASSHTO T 240. Efecto del Calentamiento y Aire en asfaltos con RTFO.

ASTM D 4402 / ASSHTO T 316 y T 228. Viscosidad Dinámica en Asfaltos.

ASTM D 36 / ASSHTO T 53. Punto de Ablandamiento.

ASTM D 6084. Recuperación Elástica por Ductilómetro.

ASTM D 7175. Determinación de las propiedades reológicas de ligantes asfálticos mediante el Reómetro de Corte Dinámico

ASTM D 6521 / AASHTO R 28. Envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos mediante el dispositivo de envejecimiento presurizado (PAV)





### 3. Resultados

Tabla N°1: Ensayos al Asfalto Original					
Ensayo	Método de Ensayo		Resultados	Unidades	ASTM D 5892, Tabla 1. IV - F
	ASTM	ASSHTO			
Recuperación Elástica por Torsión	-	-	54	°	-
Penetración a 25°C	D 5	T 49	48	dmm	35 Min
Punto de Ablandamiento	D 36	T 53	58	°C	Reportar
Viscosidad Dinámica a 135°C	D 4402	T 136	1475	cP	3000 Máx
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 76°C [G* / Sen δ]	D 7175	-	1.110	KPa	-

Tabla N°2: Ensayos al Asfalto Envejecido en el RTFO				
Ensayo	Método de Ensayo	Resultados	Unidades	ASTM D 5892, Tabla 1. IV - F
	ASTM / AASHTO			
Recuperación Elástica a 25°C	ASTM D 6084	80	%	70 Min
Penetración a 4°C, 200g por 60s	ASTM D 5	15.6	dmm	10 Min
Pérdida de Masa	ASTM D 2872	0.311	%	1% Máx
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 76°C [G* / Sen δ]	ASTM D 7175	2.587	KPa	2.2 Min

Tabla N°3: Ensayos al Asfalto Envejecido PAV				
Ensayo	Método de Ensayo	Resultados	Unidades	ASTM D 6521
	ASTM			
Módulo Reológico de Corte Dinámico a 31°C [G* / Sen δ]	D 7175	1819	Kpa	5,000 Máx

#### ➤ Temperaturas de Compactación y Mezclado

°C	cP	Pa.s
120	3746	3.746
135	1475	1.475
150	666.4	0.6664
165	338.9	0.3389
180	189.6	0.1896

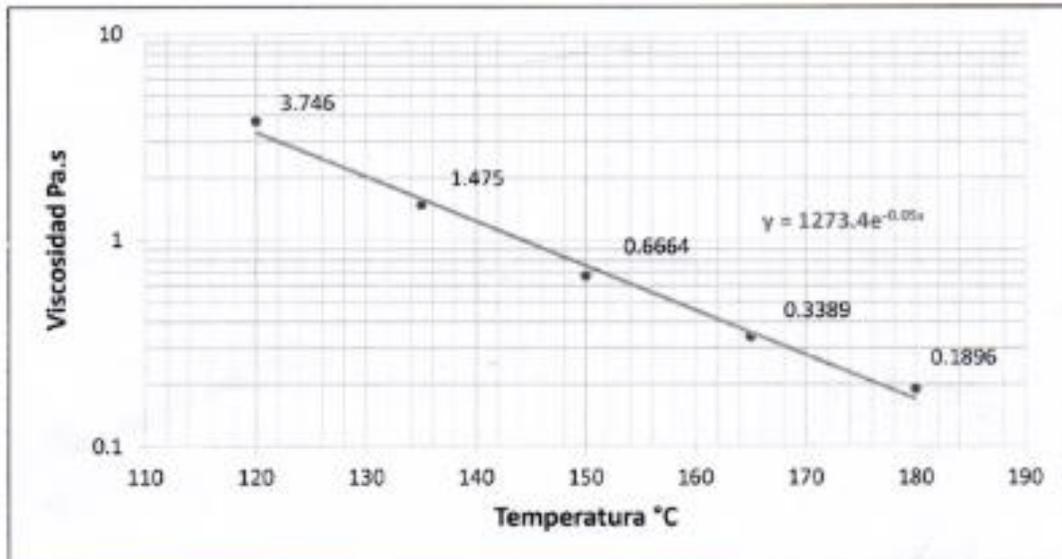




Soluciones Técnicas Sol, S. A.  
Km 14 Carretera a Masaya, 8.5 km hacia Veracruz, contiguo a Proinco.  
Tel.: (505) 2279-2109; e-mail: calidad@plantasoltec.com



Temperatura de Compactación	Temperatura de mezclado
168	178
172	182



Elaborado por:  
Eveling Vanegas Narváez  
Control de Calidad  
calidad@plantasoltec.com  
Tel: 2279-2109



Firma del Gerente de Planta ó Gerente General

**PAVINIC****PAVIMENTOS DE NICARAGUA, S.A.  
(PAVINIC, S.A.)**Km. 14.5 carretera a Masaya, entrada a Veracruz 9 Km. Al este.  
Teléfono: 22792066 Fax: 22792055  
E-mail: info.pavinic@yahoo.es

<b>Proyecto:</b>				
<b>Cliente:</b>		<b>Actividad:</b>	<b>MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON AC-30</b>	
<b>Fecha de Muestreo:</b>	<b>10/07/2018</b>	<b>GRADO:</b>	PG 64(25)	<b>Laboratorio de Asfalto</b>
<b>Hora de Ensayo:</b>	<b>08:00</b>	<b>Temp. de Mezclado:</b>	146.0 °C	
<b>Fecha de Ensayo:</b>	<b>13/07/2018</b>	<b>Temp. de compactacion:</b>	156.0 °C	

<b>Contenido de asfalto en base al peso de la mezcla (%) :</b>	<b>6.00</b>
<b>Contenido de asfalto en base al peso de los agregado (%) :</b>	<b>6.38</b>

**GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS**

ASTM D 2726; Sección 9; 2000

<b>No. Especimen a Ensayar:</b>	<b>No. 1</b>	<b>No. 2</b>	<b>No. 3</b>	<b>No. 4</b>	<b>No. 5</b>	<b>Promedio</b>
Espesor, mm:	63.5	63.1	63.4			63.3
(A) Masa seca en el aire, g:	1265.5	1266.9	1267.6			1266.7
(C) Masa Sumergida, g:	769.9	771.9	771.8			771.2
(B) Masa Saturada Superficie Seca, g:	1266.3	1268.0	1268.9			1267.7
Temperatura del baño de agua, °C:	25	25	25			25.0
Volumen equivalente, cm <sup>3</sup> :	496.4	496.1	497.1			496.5
G. Especifica Bruta Sin Correccion	2.549	2.554	2.550			2.551
Factor de correccion K	1.000000	1.000000	1.000000			1.000
Gravedad Especifica Bruta Corregida:	2.549	2.554	2.550			<b>2.551</b>
Absorcion del especimen, %:	0.16	0.22	0.26			<b>0.215</b>

<b>T °C</b>	<b>K</b>	<b>Corrección de la Gravedad Especifica Bruta cuando la temperatura del metodo de ensayo difiere de 25 °C</b>	<b>Analisis estadistico</b>		<b>ASTM 2726, Sección 12</b>		
20	1.001162		ASTM 2726 Sección 10	n:	3	Presicion de calculos	1 DS
21	1.00095	Promedio:		2.551	Un Operador:	0.0124	0.035
22	1.000728	S:		0.0024	Multilaboratorio:	0.0269	0.076
23	1.000495	C.V. (%)		0.09	1-2 DS (Una-Dos Desviaciones Estandar)		
24	1.000253	Máximo:		2.554	<b>Comentarios:</b>		
25	1	Mínimo:		2.549			
26	0.999738	Diferencia:		0.004			
27	0.999467						
28	0.999187						



**PAVINIC**

**PAVIMENTOS DE NICARAGUA, S.A.  
(PAVINIC, S.A.)**

Km. 14.5 carretera a Masaya, entrada a Veracruz 9 Km. Al este.  
Teléfono: 22792066 Fax: 22792065  
E-mail: info.pavinic@yahoo.es

<b>Proyecto:</b>				
<b>Cliente:</b>		<b>Actividad:</b>	<b>MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON AC-30</b>	
<b>Fecha de Muestreo:</b>	<b>10/07/2018</b>	<b>GRADO:</b>	PG 64(25)	<b>Laboratorio de Asfalto</b>
<b>Hora de Ensayo:</b>	<b>08:00</b>	<b>Temp. de Mezclado:</b>	146.0 °C	
<b>Fecha de Ensayo:</b>	<b>13/07/2018</b>	<b>Temp. de compactacion:</b>	156.0 °C	

**GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS**

Absorción de los agregados, %:	1.53	1.53	% VACIOS CON AIRE, ASTM D 3203; SECCIÓN 6
Masa de la muestra, g:	1,513.0	1,522.0	p Bruta de la mezcla a 25°C, kg/m <sup>3</sup> <b>2,551</b>
Contenido de agua en la mezcla, %:	0.00	0.00	ρ Max Teórica a 25°C, kg/m <sup>3</sup> <b>2,660</b>
Masa de muestra secada al horno, g:	1,513.0	1,522.0	Vacios con aire en la mezcla, % <b>4.1</b>
Masa de recipiente + agua, g.	8,093.4	8,093.4	
Masa de recipiente + agua + muestra, g:	9,037.6	9,043.2	Comentarios:
Volumen de la muestra, cm3:	568.8	572.2	
Aplica metodo Suplementario para agregados absorbentes.??	SI		
	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Masa de muestra SSS, g:	1,513.0	1,522.0	
Volumen Corregido de la muestra, cm3:			Ingeniero de Control de Calidad: A.Lopez
Gravedad Especifica Maxima Teorica:	2.660	2.660	Técnico de Laboratorio: M.Zavala

**ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS**

AASTHO T 245-03

Especímen	Volúmen (cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad Corregida	Flujo (0.01 Pulg.)	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)	Vacios (%)
1	496.4	4,538	1.04	4,719	9.0	2,141	2.3	4.2
2	496.1	4,609	1.04	4,794	7.0	2,175	1.8	4.0
3	497.1	4,540	1.04	4,721	8.0	2,142	2.0	4.1
4								
5								
<b>Promedio:</b>	<b>497</b>	<b>4,562</b>	<b>1.04</b>	<b>4,745</b>	<b>8.0</b>	<b>2,152.8</b>	<b>2.0</b>	<b>4.1</b>

Formula de trabajo					Propiedades Volumetricas de la mezcla	
Fraciones	3/4"	1/2"	1/4"	Filler	% agregados/Mezcla:	94.0
%	10.6	32.1	50.9		Vacios en el Agregado Mineral, VMA:	15.1
Gbs	2.777	2.777	2.863		Vacios llenos de asfalto, VFA:	72.8
<b>G. Especifica bruta de todos los agregados:</b>				<b>2.823</b>	G. Especifica Efectiva Agregados:	2.960
<b>Densida del Asfalto:</b>				<b>1.027</b>	% Asfalto Absorbido:	1.69
Ingeniero de Control de la Calidad: Alvaro Lopez					% Asfalto Efectivo:	4.41
Técnico de laboratorio: Micol Zavala					Relación Bitumen efectivo/Filler:	1.05
					Vacios con aire en la mezcla, %	4.1

Resp. Control de Calidad

Técnico Laboratorista

**PAVINIC****PAVIMENTOS DE NICARAGUA, S.A.  
(PAVINIC, S.A.)**Km. 14.5 carretera a Masaya, entrada a Veracruz 9 Km. Al este.  
Teléfono: 22792066 Fax: 22792055  
E-mail: info.pavinic@yahoo.es

<b>Proyecto:</b>	<b>Evaluación del desempeño de mezclas para pavimentos con asfaltos modificados en Nicaragua, Utilizando el Met. Marshall</b>			
<b>Cliente:</b>		<b>Actividad:</b>	<b>MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ELVALOY</b>	
<b>Fecha de Muestreo:</b>	<b>22/08/2018</b>	<b>GRADO:</b>	PG 76-22	
<b>Hora de Ensayo:</b>	<b>08:30</b>	<b>Temp. de Mezclado:</b>	180.0 °C	
<b>Fecha de Ensayo:</b>	<b>22/08/2018</b>	<b>Temp. de compactacion:</b>	172.0 °C	

**Laboratorio de Asfalto**

<b>Contenido de asfalto en base al peso de la mezcla (%) :</b>	<b>5.90</b>
<b>Contenido de asfalto en base al peso de los agregado (%) :</b>	<b>6.27</b>

**GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS**

ASTM D 2726; Sección 9; 2000

<b>No. Especimen a Ensayar:</b>	<b>No. 1</b>	<b>No. 2</b>	<b>No. 3</b>	<b>No. 4</b>	<b>No. 5</b>	<b>Promedio</b>
Espesor, mm:	63.5	64.0	63.5			63.7
(A) Masa seca en el aire, g:	1264.2	1260.9	1262.1			1262.4
(C) Masa Sumergida, g:	762.0	760.0	760.5			760.8
(B) Masa Saturada Superficie Seca, g:	1265.1	1262.0	1262.9			1263.3
Temperatura del baño de agua, °C:	25	25	25			25.0
Volumen equivalente, cm <sup>3</sup> :	503.1	502	502.4			502.5
G. Especifica Bruta Sin Correccion	2.513	2.512	2.512			2.512
Factor de correccion K	1.000000	1.000000	1.000000			1.000
Gravedad Especifica Bruta Corregida:	2.513	2.512	2.512			<b>2.512</b>
Absorcion del especimen, %:	0.18	0.22	0.16			<b>0.186</b>

<b>T °C</b>	<b>K</b>	<b>Corrección de la Gravedad Especifica Bruta cuando la temperatura del metodo de ensayo difiere de 25 °C</b>	<b>Analisis estadistico</b>		<b>ASTM 2726, Sección 12</b>		
20	1.001162		ASTM 2726 Sección 10	n:	3	Presicion de calculos	1 DS
21	1.00095	Promedio:		2.512	Un Operador:	0.0124	0.035
22	1.000728	S:		0.0005	Multilaboratorio:	0.0269	0.076
23	1.000495	C.V. (%)		0.02	1-2 DS (Una-Dos Desviaciones Estandar)		
24	1.000253	Máximo:		2.513	<b>Comentarios:</b>		
25	1	Mínimo:		2.512			
26	0.999738	Diferencia:		0.001			
27	0.999467						
28	0.999187						



Resp. Control de Calidad



Técnico Laboratorio

**PAVINIC****PAVIMENTOS DE NICARAGUA, S.A.  
(PAVINIC, S.A.)**Km. 14.5 carretera a Masaya, entrada a Veracruz 9 Km. Al este.  
Teléfono: 22792066 Fax: 22792055  
E-mail: info.pavinic@yahoo.es

<b>Proyecto:</b>	<b>Evaluación del desempeño de mezclas para pavimentos con asfaltos modificados en Nicaragua, Utilizando el Met. Marshall</b>			
<b>Cliente:</b>		<b>Actividad:</b>	<b>MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ELVALOY</b>	
<b>Fecha de Muestreo:</b>	<b>22/08/2018</b>	<b>GRADO:</b>	PG 76-22	<b>Laboratorio de Asfalto</b>
<b>Hora de Ensayo:</b>	<b>08:30</b>	<b>Temp. de Mezclado:</b>	180.0 °C	
<b>Fecha de Ensayo:</b>	<b>22/08/2018</b>	<b>Temp. de compactacion:</b>	172.0 °C	

**GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS**

Absorción de los agregados, %:	1.53	1.53	% VACIOS CON AIRE, ASTM D 3203; SECCIÓN 6
Masa de la muestra, g:	1,515.0	1,515.9	$\rho$ Bruta de la mezcla a 25°C, kg/m <sup>3</sup> <b>2,512</b>
Contenido de agua en la mezcla, %:	0.00	0.00	$\rho$ Max Teórica a 25°C, kg/m <sup>3</sup> <b>2,622</b>
Masa de muestra secada al horno, g:	1,515.0	1,515.9	Vacios con aire en la mezcla, % <b>4.2</b>
Masa de recipiente + agua, g:	8,093.5	8,093.5	
Masa de recipiente + agua + muestra, g:	9,031.1	9,031.0	Comentarios:
Volumen de la muestra, cm <sup>3</sup> :	577.4	578.4	
Aplica metodo Suplementario para agregados absorbentes.??	SI		
	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Masa de muestra SSS, g:	1,515.0	1,515.9	
Volumen Corregido de la muestra, cm <sup>3</sup> :			Ingeniero de Control de Calidad: A.Lopez
Gravedad Especifica Maxima Teorica:	2.624	2.621	Técnico de Laboratorio: M.Zavala

**ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS**

AASHTO T 245-03

Especímen	Volúmen (cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad Corregida	Flujo (0.01 Pulg.)	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)	Vacios (%)
1	503.1	5,202	1.04	5,410	11.9	2,455	3.0	4.2
2	502.0	5,212	1.04	5,421	12.0	2,459	3.0	4.2
3	502.4	5,222	1.04	5,431	11.9	2,464	3.0	4.2
4								
5								
<b>Promedio:</b>	<b>503</b>	<b>5,212</b>	<b>1.04</b>	<b>5,421</b>	<b>11.9</b>	<b>2,459.5</b>	<b>3.0</b>	<b>4.2</b>

Formula de trabajo					Propiedades Volumetricas de la mezcla	
Fraciones	3/4"	1/2"	1/4"	Filler	% agregados/Mezcla:	94.1
%	10.6	32.1	50.9		Vacios en el Agregado Mineral, VMA:	16.3
Gbs	2.777	2.777	2.863		Vacios llenos de asfalto, VFA:	74.2
<b>G. Especifica bruta de todos los agregados:</b>				<b>2.823</b>	G. Especifica Efectiva Agregados:	2.905
<b>Densida del Asfalto:</b>				<b>1.027</b>	% Asfalto Absorbido:	1.03
Ingeniero de Control de la Calidad:	Alvaro Lopez				% Asfalto Efectivo:	4.93
Técnico de laboratorio	Maycol Zavala				Relación Bitumen efectivo/Filler:	1.07
					Vacios con aire en la mezcla, %	4.2



Resp. Control de Calidad



Técnico Laboratorista

**PAVINIC****PAVIMENTOS DE NICARAGUA, S.A.  
(PAVINIC, S.A.)**Km. 14.5 carretera a Masaya, entrada a Veracruz 9 Km. Al este  
Teléfono: 22792066 Fax: 22792055  
E-mail: info.pavinic@yahoo.es

<b>Proyecto:</b>	Evaluación del desempeño de mezclas para pavimentos con asfaltos modificados en Nicaragua, Utilizando el Met. Marshall			
<b>Cliente:</b>		<b>Actividad:</b>	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON SBS	
<b>Fecha de Muestreo:</b>	27/09/2018	<b>GRADO:</b>	PG 76-22	<b>Laboratorio de Asfalto</b>
<b>Hora de Ensayo:</b>	08:00	<b>Temp. de Mezclado:</b>	190.0 °C	
<b>Fecha de Ensayo:</b>	27/09/2018	<b>Temp. de compactacion:</b>	179.0 °C	

<b>Contenido de asfalto en base al peso de la mezcla (%) :</b>	<b>6.10</b>
<b>Contenido de asfalto en base al peso de los agregado (%) :</b>	<b>6.50</b>

**GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS**

ASTM D 2726; Sección 9; 2000

No. Especimen a Ensayar:	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	Promedio
Espesor, mm:	63.5	64.0	63.5			63.7
(A) Masa seca en el aire, g:	1265.1	1263.7	1265.2			1264.7
(C) Masa Sumergida, g:	755.6	754.6	755.5			755.2
(B) Masa Saturada Superficie Seca, g:	1266.6	1264.5	1266.5			1265.9
Temperatura del baño de agua, °C:	25	25	25			25.0
Volumen equivalente, cm <sup>3</sup> :	511	509.9	511			510.6
G. Especifica Bruta Sin Correccion	2.476	2.478	2.476			2.477
Factor de correccion K	1.000000	1.000000	1.000000			1.000
Gravedad Especifica Bruta Corregida:	2.476	2.478	2.476			<b>2.477</b>
Absorcion del especimen, %:	0.29	0.16	0.25			<b>0.235</b>

T °C	K	Corrección de la Gravedad Especifica Bruta cuando la temperatura del metodo de ensayo difiere de 25 °C	Analisis estadistico		ASTM 2726, Sección 12		
20	1.001162		ASTM 2726 Sección 10	n:	3	Presicion de calculos	1 DS
21	1.00095	Promedio:		2.477	Un Operador:	0.0124	0.035
22	1.000728	S:		0.0014	Multilaboratorio:	0.0269	0.076
23	1.000495	C.V. (%)		0.06	1-2 DS (Una-Dos Desviaciones Estandar)		
24	1.000253	Máximo:		2.478	<b>Comentarios:</b>		
25	1	Mínimo:		2.476			
26	0.999738	Diferencia:		0.003			
27	0.999467						
28	0.999187						



Resp. Control de Calidad



Técnico Laboratorista

**PAVINIC****PAVIMENTOS DE NICARAGUA, S.A.  
(PAVINIC, S.A.)**Km. 14.5 carretera a Masaya, entrada a Veracruz 9 Km. Al este  
Teléfono: 22792066 Fax: 22792055  
E-mail: info.pavinic@yahoo.es

<b>Proyecto:</b>	Evaluación del desempeño de mezclas para pavimentos con asfaltos modificados en Nicaragua, Utilizando el Met. Marshall			
<b>Cliente:</b>		<b>Actividad:</b>	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON SBS	
<b>Fecha de Muestreo:</b>	27/09/2018	<b>GRADO:</b>	PG 76-22	<b>Laboratorio de Asfalto</b>
<b>Hora de Ensayo:</b>	08:00	<b>Temp. de Mezclado:</b>	190.0 °C	
<b>Fecha de Ensayo:</b>	27/09/2018	<b>Temp. de compactación:</b>	179.0 °C	

**GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS**

Absorción de los agregados, %:	1.53	1.53	% VACIOS CON AIRE, ASTM D 3203; SECCIÓN 6
Masa de la muestra, g:	1,531.2	1,534.9	$\rho$ Bruta de la mezcla a 25°C, kg/m <sup>3</sup> <b>2,477</b>
Contenido de agua en la mezcla, %:	0.00	0.00	$\rho$ Max Teórica a 25°C, kg/m <sup>3</sup> <b>2,594</b>
Masa de muestra secada al horno, g:	1,531.2	1,534.9	Vacios con aire en la mezcla, % <b>4.5</b>
Masa de recipiente + agua, g:	8,093.5	8,093.5	
Masa de recipiente + agua + muestra, g:	9,033.6	9,037.6	Comentarios:
Volumen de la muestra, cm <sup>3</sup> :	591.1	590.8	
Aplica metodo Suplementario para agregados absorbentes.??	SI		
	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Masa de muestra SSS, g:	1,531.2	1,534.9	
Volumen Corregido de la muestra, cm <sup>3</sup> :			Ingeniero de Control de Calidad: A.Lopez
Gravedad Especifica Maxima Teorica:	2.590	2.598	Técnico de Laboratorio: M.Zavala

**ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS COMPACTADAS**

AASHTO T 245-03

Especimen	Volúmen (cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Estabilidad Corregida	Flujo (0.01 Pulg.)	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)	Vacios (%)
1	511.0	5,110	1.00	5,110	12.6	2,319	3.2	4.6
2	509.9	5,366	1.00	5,366	12.9	2,434	3.2	4.5
3	511.0	5,560	1.00	5,560	12.5	2,523	3.1	4.6
4								
5								
<b>Promedio:</b>	<b>511</b>	<b>5,345</b>	<b>1.00</b>	<b>5,345</b>	<b>12.7</b>	<b>2,425.2</b>	<b>3.2</b>	<b>5</b>

Formula de trabajo				Propiedades Volumetricas de la mezcla	
Fraciones	3/4"	1/2"	1/4"	Filler	% agregados/Mezcla: <b>93.9</b>
%	10.6	32.1	50.9		Vacios en el Agregado Mineral, VMA: <b>17.6</b>
Gbs	2.777	2.777	2.863		Vacios llenos de asfalto, VFA: <b>74.3</b>
<b>G. Especifica bruta de todos los agregados:</b>				<b>2.823</b>	G. Especifica Efectiva Agregados: <b>2.880</b>
<b>Densida del Asfalto:</b>				<b>1.027</b>	% Asfalto Absorbido: <b>0.72</b>
Ingeniero de Control de la Calidad: Alvaro Lopez					% Asfalto Efectivo: <b>5.43</b>
Técnico de laboratorio: Marcel Zavala					Relación Bitumen efectivo/Filler: <b>1.03</b>
					Vacios con aire en la mezcla, % <b>4.5</b>



Resp. Control de Calidad



Técnico Laboratorista

	<b>RESISTENCIA RETENIDA AASHTO T 283 - 07</b>		
<b>Proyecto:</b>	Evaluacion del desempeño de mezclas para pavimentos con asfaltos modificados en Nicaragua, Utilizando el M.M		
<b>Cliente:</b>		<b>Temperat. Mezclado</b>	156 °C
<b>Estacion plantel:</b>	VERACRUZ	<b>Tempert. Compactacion:</b>	146 °C
<b>Prosedencia:</b>	PAVINIC	<b>Tramo o estacion:</b>	
<b>Descripción:</b>	MAC CONVENCIONAL	<b>Banda:</b>	
<b>Fecha de muestreo:</b>	10/07/2018	<b>Fecha de fin ensayo:</b>	15/07/2018

ESPECIMENES	SECAS			SATURADAS		
	1	3	6	2	4	5
Especimen N°						
Espeor (mm) T	65.9	63.3	63.8	64.5	65.0	64.6
Masa Seca al Aire (g) A	1,225.0	1,224.3	1,223.1	1,226.1	1,226.7	1225.6
Masa en el Agua (g) B	731.9	730.0	729.8	732.1	732.5	731.1
Masa Sat. Sup. Seca (g) C	1,226.8	1,226.0	1,224.9	1,228.0	1,228.4	1227.4
Temp. Del Baño de Agua (°C)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Volumen Equivalente D=C-B	494.9	496.0	495.1	495.9	495.9	496.3
Gravedad Esp. Bruta E=A/D	2,475	2,468	2,470	2,472	2,474	2,469
Factor de Corrección Temperatura 25°C.( K)	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
Gravedad Esp. Bruta (T25°C) F=K*E	2,475	2,468	2,470	2,472	2,474	2,469
Agua Absorbida (%) G=(C-A)*100/D	0.36%	0.34%	0.36%	0.38%	0.34%	0.36%
Gravedad Esp. Máxima Teórica (H)	2,660.0	2,660.0	2,660.0	2,660.0	2,660.0	2,660.0
Vacios con Aire (%) I=(H-F)*100/H	6.9%	7.2%	7.1%	7.0%	7.0%	7.2%

ESPECIMENES	SECO				SATURADO			
	1	3	6	Promedio	4	5	6	Promedio
Especimen No.								
Vacios con Aire (%) I	6.9%	7.2%	7.1%	7.1%	7.0%	7.0%	7.2%	7.1%
Espeor (mm) T	65.9	63.3	63.8	64.3	64.5	65.0	64.6	64.7
Diámetro (mm) R	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1
Masa Seca al Aire (g) A	1,225.0	1,224.3	1,223.1	1,224.1	1,226.1	1,226.7	1,225.6	1,226.1
Volumen del Especimen (cm³) D	494.9	496.0	495.1	495.3	495.9	495.9	496.3	496.0
Masa Espe. Saturado (g) J					1252.0	1252.6	1252.2	1252.3
Tiempo de Saturación (seg.)					35	35	35	35.0
Vacio Aplicado (inHg)					20	20	20	20.0
Volumen de Agua Absorbido (cr) L=J-A					25.9	25.9	26.6	26.1
Volumen del Vacios (cm³) M=D*I					35.0	34.7	35.5	35.1
Saturación del Especimen (%) N=L*100/M					74.1%	74.6%	74.8%	74%
Deformación del Anillo Q	244.0	238.0	235.0	239.0	180.0	188.0	181.0	183.0
Carga Resistida (lbf) P	2,493.7	2,432.4	2,401.7	2,442.6	1,839.6	1,921.4	1,849.8	1,870.3
Tensión Diametral (Kpa) 2831.8*P/(T*R)	1,059.9	1,075.6	1,055.1	1,063.5	798.9	828.0	802.1	809.6
<b>Resistencia Retenida a la Tensión Diametral %</b>								<b>76.1%</b>

OBSERVACIONES:

Todos los porcentajes de vacios se encuentran dentro de rango de especificaciones tecnicas (6.5% - 7.5%)  
 El porcentaje de tension Diametral (76.1%) esta dentro de especificaciones, teniendo como parametro minimo 75%.

  
 CONTROL CALIDAD  
 PAVINIC

Resp. Control de Calidad

  
 LABORATORIO  
 PAVINIC

Técnico Laboratorista

	<b>RESISTENCIA RETENIDA AASHTO T 283 - 07</b>		
<b>Proyecto:</b>	Evaluación del desempeño de mezclas para pavimentos con asfaltos modificados en Nicaragua, Utilizando el Met. Marshall		
<b>Ciente:</b>		<b>Temperat. Mezclado</b>	181 °C
<b>Estacion plantel:</b>	VERACRUZ	<b>Tempert. Compactacion:</b>	172 °C
<b>Prosedencia:</b>	PAVINIC	<b>Tramo o estacion:</b>	
<b>Descripción:</b>	MAC CON ELVALOY	<b>Banda:</b>	
<b>Fecha de muestreo:</b>	22/08/2018	<b>Fecha de fin ensayo:</b>	26/08/2018

ESPECIMENES	SECAS			SATURADAS		
	1	3	6	2	4	5
Especimen N°						
Espesor (mm) T	62.2	64.5	64.2	64.5	64.0	64.5
Masa Seca al Aire (g) A	1,191.6	1,250.0	1,249.3	1,249.4	1,245.6	1,249.6
Masa en el Agua (g) B	704.0	740.2	738.5	739.6	737.6	738.7
Masa Sat. Sup. Seca (g) C	1,194.1	1,253.0	1,251.3	1,252.4	1,248.7	1,251.6
Temp. Del Baño de Agua (°C)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Volumen Equivalente D=C-B	490.1	512.8	512.8	512.8	511.1	512.9
Gravedad Esp. Bruta E=A/D	2,431	2,438	2,436	2,436	2,437	2,436
Factor de Corrección Temperatura 25°C. (K)	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
Gravedad Esp. Bruta (T25°C) F=K*E	2,431	2,438	2,436	2,436	2,437	2,436
Agua Absorbida (%) G=(C-A)*100/D	0.51%	0.59%	0.39%	0.59%	0.61%	0.39%
Gravedad Esp. Máxima Teórica (H)	2,616.0	2,616.0	2,616.0	2,616.0	2,616.0	2,616.0
Vacios con Aire (%) I=(H-F)*100/H	7.1%	6.8%	6.9%	6.9%	6.8%	6.9%

ESPECIMENES	SECO				SATURADO			
Especimen No.	1	3	6	Promedio	4	5	6	Promedio
Vacios con Aire (%) I	7.1%	6.8%	6.9%	6.9%	6.9%	6.8%	6.9%	6.9%
Espesor (mm) T	62.2	64.5	64.2	63.7	64.5	64.0	64.5	64.3
Diámetro (mm) R	101.2	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1
Masa Seca al Aire (g) A	1,191.6	1,250.0	1,249.3	1,230.3	1,249.4	1,245.6	1,249.6	1,248.2
Volumen del Especimen (cm³) D	490.1	512.8	512.8	505.2	512.8	511.1	512.9	512.3
Masa Espe. Saturado (g) J					1276.1	1271.1	1276.1	1274.4
Tiempo de Saturación (seg.)					35	35	35	35.0
Vacio Aplicado (inHg)					20	20	20	20.0
Volumen de Agua Absorbido (c) L=J-A					26.7	25.5	26.5	26.2
Volumen del Vacíos (cm³) M=D*I					35.2	35.0	35.2	35.1
Saturación del Especimen (%) N=L*100/M					75.9%	73.0%	75.2%	75%
Deformación del Anillo Q	375.0	370.0	380.0	375.0	360.0	350.0	355.0	355.0
Carga Resistida (lbf) P	3,832.5	3,781.4	3,883.6	3,832.5	3,679.2	3,577.0	3,628.1	3,628.1
Tensión Diametral (Kpa) 2831.8*P/(T*R)	1,723.3	1,641.6	1,694.4	1,686.4	1,597.2	1,565.5	1,575.1	1,579.3
<b>Resistencia Retenida a la Tensión Diametral %</b>								<b>93.6%</b>

OBSERVACIONES: Todos los porcentajes de vacíos se encuentran dentro de rango de especificaciones técnicas (6.5% - 7.5%)  
El porcentaje de tensión Diametral (93.6%) está dentro de especificaciones, teniendo como parametro mínimo 75%.



Resp. Control de Calidad



Técnica Laboratorista

		<b>RESISTENCIA RETENIDA AASHTO T 283 - 07</b>	
<b>Proyecto:</b>	Evaluación del desempeño de mezclas para pavimentos con asfaltos modificados en Nicaragua, Utilizando el Met. Marshall		
<b>Cliente:</b>		<b>Temperat. Mezclado</b>	190 °C
<b>Estacion plantel:</b>	VERACRUZ	<b>Tempert. Compactacion:</b>	179 °C
<b>Prosedencia:</b>	PAVINIC	<b>Tramo o estacion:</b>	
<b>Descripción:</b>	MAC CON SBS	<b>Banda:</b>	
<b>Fecha de muestreo:</b>	23/09/2018	<b>Fecha de fin ensayo:</b>	27/09/2018

ESPECIMENES	SECAS			SATURADAS		
Especimen N°	1	3	6	2	4	5
Espesor (mm) T	65.9	63.3	63.8	64.5	65.0	64.6
Masa Seca al Aire (g) A	1,233.8	1,233.7	1,231.2	1,228.7	1,232.3	1,232.7
Masa en el Agua (g) B	724.5	724.0	722.5	723.0	723.3	723.7
Masa Sat. Sup. Seca (g) C	1,235.9	1,234.8	1,232.4	1,232.8	1,234.6	1,235.2
Temp. Del Baño de Agua (°C)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Volumen Equivalente D=C-B	511.4	510.8	509.9	509.8	511.3	511.5
Gravedad Esp. Bruta E=A/D	2,413	2,415	2,415	2,410	2,410	2,410
Factor de Corrección Temperatura 25°C. (K)	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
Gravedad Esp. Bruta (T25°C) F=K'E	2,413	2,415	2,415	2,410	2,410	2,410
Agua Absorbida (%) G=(C-A)*100/D	0.41%	0.22%	0.24%	0.80%	0.45%	0.49%
Gravedad Esp. Máxima Teórica (H)	2,594.0	2,594.0	2,594.0	2,594.0	2,594.0	2,594.0
Vacios con Aire (%) I=(H-F)*100/H	7.0%	6.9%	6.9%	7.1%	7.1%	7.1%

ESPECIMENES	SECO				SATURADO			
Especimen No.	1	3	6	Promedio	4	5	6	Promedio
Vacios con Aire (%) I	7.0%	6.9%	6.9%	6.9%	7.1%	7.1%	7.1%	7.1%
Espesor (mm) T	65.9	63.3	63.8	64.3	64.5	65.0	64.6	64.7
Diámetro (mm) R	101.2	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1	101.1
Masa Seca al Aire (g) A	1,233.8	1,233.7	1,231.2	1,232.9	1,228.7	1,232.3	1,232.7	1,231.2
Volumen del Especimen (cm³) D	511.4	510.8	509.9	510.7	509.8	511.3	511.5	510.9
Masa Espe. Saturado (g) J					1255.6	1259.1	1260.0	1258.2
Tiempo de Saturación (seg.)					35	35	35	35.0
Vacio Aplicado (inHg)					20	20	20	20.0
Volumen de Agua Absorbido (c) L=J-A					26.9	26.8	27.3	27.0
Volumen del Vacíos (cm³) M=D*I					36.1	36.2	36.3	36.2
Saturación del Especimen (%) N=L*100/M					74.5%	73.9%	75.2%	75%
Deformación del Anillo Q	310.0	308.0	335.0	317.7	284.0	290.0	265.0	279.7
Carga Resistida (lbf) P	3,168.2	3,147.8	3,423.7	3,246.6	2,902.5	2,963.8	2,708.3	2,858.2
Tensión Diametral (Kpa) 2831.8*P/(T*R)	1,345.3	1,392.0	1,504.0	1,413.8	1,260.4	1,277.2	1,174.3	1,237.3
<b>Resistencia Retenida a la Tensión Diametral %</b>								<b>87.5%</b>

OBSERVACIONES: Todos los porcentajes de vacios se encuentran dentro de rango de especificaciones técnicas (6.5% - 7.5%)  
 El porcentaje de tension Diametral (87.5%) esta dentro de especificaciones, teniendo como parametro mínimo 75%.

