

# Efecto de los ligantes asfálticos modificados con aditivos sobre las propiedades las de mezclas asfálticas

Ing. Laura Ramírez Castro  
Laboratorio Nacional de Materiales  
y Modelos Estructurales  
Costa Rica

## 1. INTRODUCCIÓN

En este estudio se analiza el cambio en las propiedades físicas de los ligantes asfálticos, debido a la incorporación de modificantes del tipo elastómero, plastómero y cal, y la forma cómo estos cambios afectan el desempeño de la mezcla asfáltica.

El estudio se basó en análisis estadísticos para determinar el efecto en las propiedades de la mezcla, producto de los cambios en las características de los ligantes, teniendo en consideración las siguientes variables experimentales: Tipo de modificante, contenido de ligante asfáltico, grado (de consistencia) del ligante asfáltico y las interacciones entre el tipo de modificante y el contenido de ligante asfáltico (tipo\*contenido) y entre el tipo de modificante y el grado del ligante asfáltico (tipo\*grado).

Se analizaron los cambios en las propiedades de consistencia (viscosidad, penetración, densidad) y reológicas (resistencia a la deformación plástica y resistencia al agrietamiento) del ligante asfáltico. Se analizó el efecto del cambio en las propiedades de los ligantes sobre los parámetros Marshall de estabilidad y flujo y sobre los parámetros volumétricos de la mezcla.

Para la realización de este proyecto, se planteó el esquema experimental mostrado en la **Figura N. 1**.

## 2. GENERALIDADES

### Materia prima utilizada para la elaboración de la mezcla asfáltica

- Agregado mineral: Proveniente del Quebrador Las Cóncavas (Dulce Nombre de Cartago). Se usó una graduación densa, con tamaño nominal máximo de 12.5 mm. Se caracterizó el agregado a través de los parámetros combinados de gravedad específica y absorción (2.53 y 4.14 respectivamente).
- Modificantes: Se usaron tres distintos modificantes; el plastómero (Eastman), dosificado en una proporción de 5% por peso de ligante, el elastómero (Elvaloy), dosificado en una proporción de 1.5% por peso de ligante asfáltico; y la cal, dosificada en una proporción de 3% por peso de agregado.

- Ligante asfáltico: Se utilizaron dos tipos de ligantes: AC-20 y AC-30, en condición no modificada, y en condición modificada, con plastómero y elastómero. Se dosificó en una proporción de 6.5% y 7.5% por peso total de agregado.

### Pruebas para la caracterización del ligante asfáltico

Para la caracterización del ligante se realizaron los siguientes ensayos:

- Pruebas de consistencia: Se hicieron pruebas de penetración a 15 y 25 °C, viscosidad a 60 °C (condición original y envejecido en horno rotatorio de película delgada vertical RTFO), 125, 135 y 145 °C y densidad a 25 °C. Estos ensayos se hicieron tanto para los ligantes no modificados como para los

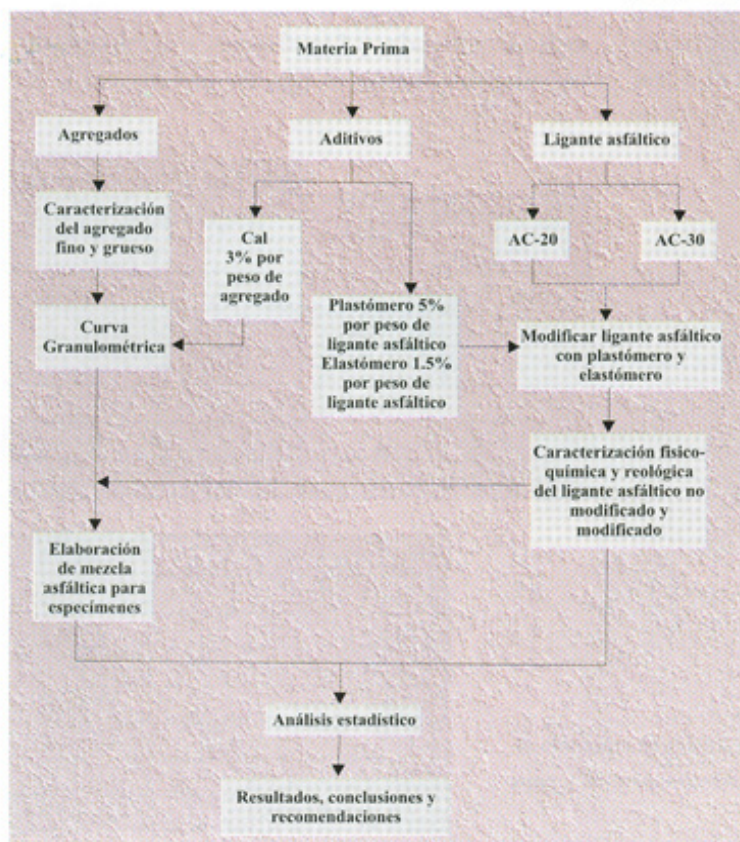


Figura 1. Esquema experimental

| TAMIZ   | % PASANDO |
|---------|-----------|
| 19 MM   | 100       |
| 12.5 MM | 95        |
| 9.5 MM  | 80        |
| N° 4    | 65        |
| N° 8    | 35        |
| N° 30   | 17        |
| N° 50   | 15        |
| N° 100  | 9         |
| N° 200  | 5.5       |

Tabla No. 1:  
Granulometría  
empleada

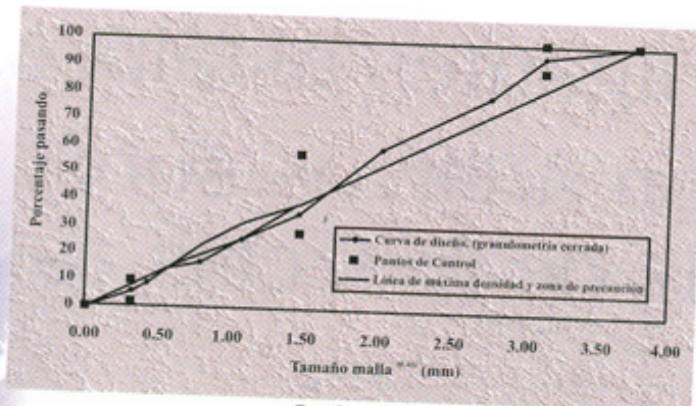


Gráfico No. 1 Curva Granulométrica

$\mu$ : corresponde al promedio del parámetro evaluado.

Efecto Tipo de modificante: busca determinar si la variación en los niveles del factor "Tipo de modificante" explica una diferencia significativa en el parámetro evaluado. Es decir, si el hecho de utilizar uno u otro modificante determina un parámetro respuesta diferenciado.

Al 90% de confianza se obtuvieron los resultados de la Tabla No. 2.

Hay evidencia estadística para afirmar que el tipo de modificante es significativo en el cambio de las propiedades volumétricas de la mezcla.

Analizando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de cada parámetro, se puede decir que los modelos que tienen como variable respuesta los parámetros volumétricos, son los que mejor explican la variabilidad total. Los parámetros de estabilidad y flujo Marshall, sin embargo, no evidencian un cambio significativo para los diferentes modificantes usados.

### 3.1.2. Efecto de cambios en el tipo de ligante asfáltico y en el contenido de asfalto.

El segundo análisis de varianza (ANOVA) se realizó con la mezcla asfáltica elaborada con AC-20 y con porcentajes de ligante del 6.5 y del 7.5% por peso total de agregado. Los factores experimentales considerados fueron el tipo de modificante y el

| Parámetro      | Factor experimental<br>Tipo de modificante |
|----------------|--------------------------------------------|
| Estabilidad    | x                                          |
| Flujo          | x                                          |
| Vacíos         | ✓                                          |
| VAM            | ✓                                          |
| VFA            | ✓                                          |
| Asf. Absorbido | ✓                                          |
| Asf. Efectivo  | ✓                                          |

| Parámetro      | $R^2$ |
|----------------|-------|
| Estabilidad    | 0.270 |
| Flujo          | 0.189 |
| Vacíos         | 0.979 |
| VAM            | 0.939 |
| VFA            | 0.979 |
| Asf. Absorbido | 0.973 |
| Asf. Efectivo  | 0.978 |

modificados con polímeros.

- Ensayos reológicos: se determinó el grado de desempeño de acuerdo con la metodología SUPERPAVE (PG) para cada tipo de ligante (AC-20 y AC-30), tanto en condición no modificada como en condición modificada con los polímeros de tipo plastómero y elastómero.

## 3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

### 3.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron tres análisis estadísticos para evaluar: a) el efecto de los modificantes, b) el tipo de ligante asfáltico, y c) el contenido de ligante asfáltico en los parámetros Marshall y volumétricos de la mezcla asfáltica. Para tal efecto, se plantearon tres factores experimentales, y para cada factor se consideraron distintos niveles. Para el factor "Tipo de modificante" se consideraron cuatro niveles experimentales: no modificado, modificado con plastómero, modificado con elastómero y modificado con cal (considérese el efecto rigidizante de la cal). Para el factor "Tipo de ligante asfáltico" se consideraron dos niveles experimentales: AC-20 y AC-30. Por último, para el factor "Contenido de ligante asfáltico" se consideraron dos factores: 6.5% y 7.5% de asfalto por peso total de agregado.

#### 3.1.1. Efecto de un cambio en el modificante.

El primer análisis de varianza (ANOVA) se realizó con la mezcla asfáltica elaborada con AC-30, y el factor experimental considerado fue el tipo de modificante. El modelo estadístico asociado con este análisis se presenta a continuación:

$$\text{Parámetro} = \mu + \text{efecto tipo de modificante}$$

Donde:

Parámetro: corresponde al parámetro evaluado, ya sea un parámetro Marshall o un parámetro volumétrico de la mezcla.

Tabla No. 2: Resultados del análisis de varianza realizado al 90% de confianza, y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para la mezcla elaborada con AC-30.

contenido de ligante; el modelo estadístico incorpora adicionalmente la interacción Tipo\*Contenido.

El modelo estadístico asociado con este análisis se presenta a continuación:

$$\text{Parámetro} = \mu + \text{efecto tipo de modificante} + \text{efecto contenido de asfalto} + \text{efecto tipo} * \text{contenido}$$

Donde:

Parámetro: corresponde al parámetro evaluado, ya sea un parámetro Marshall o un parámetro volumétrico de la mezcla.

$\mu$ : corresponde al promedio del parámetro evaluado.

Efecto Tipo de modificante: busca determinar si la variación en los niveles del factor "Tipo de modificante" explica una diferencia significativa en el parámetro evaluado, sin importar el efecto de los otros factores experimentales. Es decir, aísla el efecto cambio de tipo de modificante.

Efecto Tipo\*Contenido: busca determinar si la combinación de dos niveles de dos factores permite explicar una diferencia significativa en la variable respuesta. Dado un efecto tipo de ligante y un efecto contenido de ligante, se quiere determinar si una(s) combinación(es) específica(s) de dos niveles (posibles magnitudes) para dichos factores determina una respuesta diferente.

Al 90% de confianza se obtuvieron los resultados de la **Tabla No. 3**

De este análisis se concluye que, al 90% de confianza los dos factores y la interacción son significativos en el cambio de las propiedades de VFA y asfalto efectivo. Para el caso de los vacíos en la mezcla, sólo los factores tipo de modificantes y contenido de ligante son significativos. Para la estabilidad y el flujo, son significativos el tipo de modificante y la interacción Tipo\*Contenido. Para los parámetros vacíos en el agregado mineral (VAM) y asfalto absorbido, sólo el tipo de modificante produce cambios significativos en estos parámetros.

Del coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ), se puede decir que los modelos que mejor explican la variabilidad total son los de asfalto efectivo, asfalto absorbido y vacíos llenos con asfalto (VFA). Es decir, los parámetros relacionados con la absorción

de asfalto son fuertemente influenciados por el tipo de modificante, el contenido de ligante asfáltico y la interacción de ambos factores (hay combinaciones de tipo de modificante y contenido de asfalto que determinan una respuesta diferenciada).

### 3.1.3. Efecto de los cambios en el tipo de modificante y en el grado del ligante asfáltico.

El tercer análisis de varianza (ANOVA) se realizó con la mezcla asfáltica elaborada con AC-20 y con AC-30, y con un porcentaje de asfalto de 6.5% por peso total de agregado. Los factores experimentales considerados fueron el tipo de modificante, el grado del ligante; se incorporó además, la interacción correspondiente Tipo\*Grado. El modelo estadístico asociado con este análisis se presenta a continuación:

$$\text{Parámetro} = \mu + \text{efecto tipo de modificante} + \text{efecto grado del ligante} + \text{efecto tipo} * \text{grado}$$

Donde:

Parámetro: corresponde al parámetro evaluado, ya sea un parámetro Marshall o un parámetro volumétrico de la mezcla.

| Parámetro         | Factor experimental |                                |                  |
|-------------------|---------------------|--------------------------------|------------------|
|                   | Tipo de modificante | Contenido de ligante asfáltico | Tipo * Contenido |
| Estabilidad       | ✓                   | X                              | ✓                |
| Flujo             | ✓                   | X                              | ✓                |
| Vacios            | ✓                   | ✓                              | X                |
| VAM               | ✓                   | X                              | X                |
| VFA               | ✓                   | ✓                              | ✓                |
| Asfalto absorbido | ✓                   | X                              | X                |
| Asfalto efectivo  | ✓                   | ✓                              | ✓                |

| Parámetro         | Coeficiente de determinación          |                                            |                         |                         |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                   | R <sup>2</sup> con todos los términos | R <sup>2</sup> con términos significativos | R <sup>2</sup> ajustado |                         |
|                   |                                       |                                            | Todos términos          | Términos significativos |
| Estabilidad       | -                                     | 0.701                                      | 0.570                   |                         |
| Flujo             | -                                     | 0.816                                      | 0.735                   |                         |
| Vacios            | 0.799                                 | 0.756                                      | 0.711                   | 0.704                   |
| VAM               | 0.594                                 | 0.563                                      | 0.416                   | 0.497                   |
| VFA               | -                                     | 0.856                                      | 0.792                   |                         |
| Asfalto absorbido | -                                     | 0.987                                      | 0.981                   |                         |
| Asfalto efectivo  | -                                     | 0.996                                      | 0.994                   |                         |

Tabla No. 3: Resultados del análisis de varianza realizado al 90% de confianza, y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para la mezcla elaborada con AC-20 y contenido de asfalto de 6.5 y 7.5%.

$\mu$ : corresponde al promedio del parámetro evaluado.

Efecto Tipo de modificante: busca determinar si la variación en los niveles del factor "Tipo de modificante" explica una diferencia significativa en el parámetro evaluado, sin importar el efecto de los otros factores experimentales.

Efecto grado del ligante: busca determinar si la variación en el nivel del factor "Grado del ligante" explica una diferencia significativa en la variable respuesta, sin importar el efecto de los otros factores experimentales.

Efecto Tipo\*Grado: busca determinar si la combinación de dos niveles específicos para los dos factores permite explicar una diferencia significativa en la variable respuesta. Es decir, se evalúa la posibilidad de que un tratamiento específico determine una respuesta diferenciada.

Al 90% de confianza se obtuvieron los resultados de la **Tabla No.4**.

Del análisis se concluye que, al 90% de confianza los dos factores y la interacción son significativos en los cambios de los parámetros asfalto absorbido y asfalto efectivo. Para los parámetros de flujo, vacíos en la mezcla y vacíos llenos con asfalto (VFA) los factores tipo de modificante y la interacción Tipo\*Grado provocan cambios significativos. Para los vacíos en el agregado mineral (VAM), sólo el factor tipo de modificante es significativo. En el caso de la estabilidad, ninguno de los factores experimentales se asocia con cambios significativos.

Del coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ ), se puede afirmar que los modelos que mejor explican la variabilidad total presentada, son los correspondientes al asfalto absorbido y asfalto efectivo.

| Parámetro         | Factor experimental |                   |            |
|-------------------|---------------------|-------------------|------------|
|                   | Tipo de modificante | Grado del ligante | Tipo*Grado |
| Estabilidad       | X                   | X                 | X          |
| Flujo             | ✓                   | X                 | ✓          |
| Vacíos            | ✓                   | X                 | ✓          |
| VAM               | ✓                   | X                 | X          |
| VFA               | ✓                   | X                 | ✓          |
| Asfalto absorbido | ✓                   | ✓                 | ✓          |
| Asfalto efectivo  | ✓                   | ✓                 | ✓          |

| Parámetro         | Coeficiente de determinación |                                   |                |                         |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------|
|                   | $R^2$ con todos los términos | $R^2$ con términos significativos | $R^2$ ajustado |                         |
|                   |                              |                                   | Todos términos | Términos significativos |
| Estabilidad       | -                            | 0.210                             | 0.000          |                         |
| Flujo             | -                            | 0.626                             | 0.463          |                         |
| Vacíos            | 0.772                        | 0.639                             | 0.673          | 0.585                   |
| VAM               | 0.684                        | 0.634                             | 0.772          | 0.772                   |
| VFA               | -                            | 0.765                             | 0.663          |                         |
| Asfalto absorbido | -                            | 0.968                             | 0.955          |                         |
| Asfalto efectivo  | -                            | 0.975                             | 0.964          |                         |

**Tabla No. 4:** Resultados del análisis de varianza realizado al 90% de confianza, y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para la mezcla elaborada con AC-20 y AC-30 y contenido de asfalto de 6.5%.

## 3.2 LIGANTE ASFALTICO

Para determinar correlaciones entre distintas propiedades del ligante asfáltico, se plantearon modelos estadísticos, con el fin de determinar los correspondientes coeficientes de correlación ( $R$ ) y determinación ( $R^2$ ). En la **tabla No. 4** se presentan todos los modelos planteados.

### 3.2.1. En términos generales

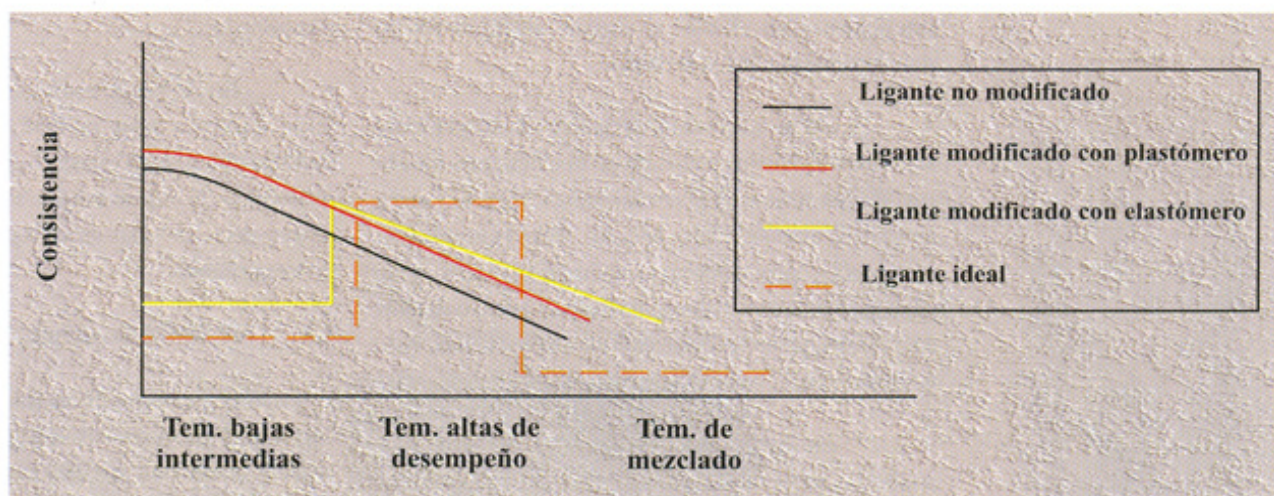
De los resultados obtenidos, se determinó lo siguiente, en términos generales:

- Las propiedades que mejor correlacionan entre sí, son las viscosidades a 135°C y a 60°C, presentando una correlación de 0.74.
- La viscosidad a 60°C y la penetración a 25°C, no presentan una alta correlación (0.55). Nótese que dicha circunstancia conlleva a la imposibilidad de establecer algún tipo de nexo entre los ligantes asfálticos clasificados de acuerdo con su consistencia a 25°C (penetración) y a 60°C (viscosidad absoluta); particularmente cuando se usan ligantes modificados.
- No se logran establecer correlaciones entre los parámetros de pérdida de masa, razón de viscosidades e índice de susceptibilidad térmica. Es decir, el efecto envejecimiento evidencia estar más relacionado con el cambio de composición química que con la pérdida de volátiles.
- La no correlación bien definida entre medidas de consistencia, incrementa la importancia de realizar una caracterización reológica para los ligantes asfálticos de aplicación en pavimentación.

### 3.2.2. Ligantes modificados con plastómero versus ligantes modificados con elastómero.

En cuanto a los cambios en las propiedades de consistencia de los ligantes modificados con los polímeros del tipo plastómero y elastómero, los resultados fueron los siguientes:

- El valor de la penetración a 15°C y 25°C registra una disminución para los ligantes asfálticos modificados con ambos polímeros, con respecto a los ligantes no modificados.
- La viscosidad a 60°C del ligante asfáltico modificado con ambos polímeros, en condición original y envejecida en RTFO, presenta un



aumento, con respecto a los ligantes no modificados.

- No se presenta una diferencia marcada en el efecto del elastómero según sea el grado del ligante asfáltico modificado. Considérese, sin embargo, que únicamente se evaluaron ligantes de los tipos AC-20 y AC-30.

- Las viscosidades a 125, 135 y 145°C presentan un aumento en sus valores cuando los ligantes asfálticos son modificados con plastómeros y elastómeros.

- El elastómero produce un mayor aumento (60-70%) en las viscosidades a altas temperaturas, que el plastómero (7-16%).

- La densidad a 25 °C se ve disminuida por el uso de los modificantes. Este efecto es particularmente importante en cuanto a que se ha demostrado que el uso de diversos modificantes incide en la absorción de asfalto (la densidad del ligante es un parámetro importante para definir el porcentaje de absorción de asfalto).

En cuanto a los cambios en las propiedades reológicas de los ligantes modificados con plastómero y elastómero, los resultados fueron los siguientes:

- El plastómero aumenta los valores del parámetro  $G^*\sin \delta$ , tanto para la condición original como para la condición envejecida en RTFO; con respecto a la condición no modificada. Se evidencia, por tanto, un incremento a la capacidad de resistir la deformación permanente.

- No se detectaron cambios en los valores

del parámetro  $G^*\sin \delta$  con el ligante modificado con plastómero.

- El plastómero mejoró la temperatura superior de desempeño, pero mantuvo igual la temperatura intermedia.

- El plastómero dará buenos resultados en sitios donde predominen las altas temperaturas y éstas no experimenten cambios bruscos (la temperatura intermedia no es modificada, de manera que no hay evidencia de que la resistencia al agrietamiento por fatiga se vea favorecida).

- Para la condición original (sin envejecimiento), entre más blando fue el ligante base usado, el plastómero produjo un mayor aumento en el parámetro  $G^*/\sin \delta$ .

- El aumento registrado en el valor del parámetro  $G^*\sin \delta$ , debido a la incorporación de plastómero, para la condición envejecida en RTFO, fue mayor entre más duro fue el ligante base utilizado.

- Los ligantes modificados con elastómero presentaron un aumento en los valores del parámetro  $G^*/\sin \delta$ , tanto para la condición original como para la condición envejecida en RTFO. También presentaron una disminución muy marcada en los valores del parámetro  $G^*\sin \delta$ . Se manifiesta, por tanto, un incremento tanto en la resistencia a la deformación permanente, como el agrietamiento por fatiga.

- Estas características del elastómero, determinan un aumento en la temperatura superior de desempeño y una disminución en la temperatura intermedia, con lo que se abre el rango de

*Figura No. 2: Curva de comportamiento de los ligantes asfálticos usados (términos generales).*



temperatura en el cual el ligante asfáltico puede desempeñarse adecuadamente.

- En la condición original, no se presenta una diferencia muy marcada en el efecto producido por el elastómero en el parámetro  $G^* \sin \delta$  cuando se mezcla con AC-20 o AC-30. Para la condición envejecida, esta diferencia es más marcada, y se obtienen mayores valores cuando es mezclado con AC-30 (mayor efecto relativo es asfalto de base más consistente).

- En resumen, el comportamiento, de manera general, de los ligantes asfálticos modificados con polímeros (plastómero y elastómero), es similar al de la **figura No. 2**, de la cual se concluye lo siguiente:

- A temperaturas intermedias de desempeño, el uso del elastómero se asocia con un mejor comportamiento de la mezcla asfáltica en comparación con el plastómero. Con base en el análisis reológico a temperaturas intermedias.

- A temperaturas altas de desempeño, el comportamiento de la mezcla es similar si se utiliza como modificador el plastómero o el elastómero. En ambos casos se excede la resistencia a la deformación permanente del ligante no

modificado.

- En cuanto a las temperaturas de mezclado, serán mayores para el caso del ligante asfáltico modificado con el elastómero; siempre que los principios de equiviscosidad sean aplicados para determinar las correspondientes temperaturas de procesamiento.

### 3.3 MEZCLA ASFÁLTICA

En cuanto al cambio presentado en las propiedades Marshall y propiedades volumétricas de la mezcla debido al uso de modificantes (cal, plastómero, elastómero), los resultados fueron los siguientes:

- El contenido de vacíos en la mezcla (VTM) se ve afectado por el tipo de modificador y el contenido de ligante asfáltico. En cuanto al tipo de modificador, la cal disminuyó el porcentaje de vacíos debido al incremento de material fino que redujo los espacios vacíos entre las partículas de agregado (lo esperado). El uso de polímeros produjo un aumento en el porcentaje de VTM, debido al incremento en rigidez de los ligantes modificados (mayor dificultad para compactar). Esta situación es más crítica conforme mayor sea el contenido de ligante asfáltico, ya que el efecto rigidizante es mayor.

| Modelo de regresión                                                                                                                                                                | R     | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> ajustado |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------|-------------------------|
| $Viscosidad \text{ a } 135^{\circ}\text{C} = \alpha + \beta * Viscosidad \text{ a } 60^{\circ}\text{C}$                                                                            | 0.742 | 0.551          | 0.543                   |
| $Viscosidad \text{ a } 135^{\circ}\text{C} = \alpha + \beta * Viscosidad \text{ a } 60^{\circ}\text{C} + \gamma * (Viscosidad \text{ a } 60^{\circ}\text{C})^2$                    | X     | 0.681          |                         |
| $Viscosidad \text{ a } 135^{\circ}\text{C} = \alpha + \beta * \frac{1}{Penetración \text{ a } 25^{\circ}\text{C}}$                                                                 |       |                | 0.297                   |
| $Viscosidad \text{ a } 60^{\circ}\text{C} = \alpha + \beta * \frac{1}{Penetración \text{ a } 25^{\circ}\text{C}} + \gamma * \frac{1}{Penetración \text{ a } 25^{\circ}\text{C}}^2$ | X     | 0.385          | 0.364                   |
| $Razón \text{ de viscosidades} = \alpha + \beta * \% \text{ pérdida de masa}$                                                                                                      | 0.432 | 0.186          | 0.166                   |
| $Razón \text{ de viscosidades} = \alpha + \beta * \% \text{ pérdida de masa} + \gamma * (\% \text{ pérdida de masa})^2$                                                            |       | 0.208          | 0.167                   |
| $\% \text{ pérdida de masa} = \alpha + \beta * índice \text{ de susceptibilidad térmica}$                                                                                          | 0.140 | 0.020          | 0.000                   |
| $Razón \text{ de viscosidades} = \alpha + \beta * índice \text{ de susceptibilidad térmica}$                                                                                       | 0.323 | 0.104          | 0.071                   |

Tabla No. 4: Modelos de determinación y correlación obtenidos para cada modelo estadístico.

- Los vacíos en el agregado mineral (VAM) no se ven afectados por el cambio en el contenido de ligante asfáltico. La cantidad de espacios vacíos que pueden ser ocupados por aire o por ligante asfáltico efectivo es determinada por las proporciones de agregado grueso y fino, y por las características de forma y absorción del agregado correspondiente. El cambio en las propiedades de consistencia, como el aumento en viscosidad y la disminución en la densidad de los ligantes modificados con polímeros afectan el VAM. En el caso del ligante modificado con plastómero, el decremento registrado en densidad, provoca una mayor absorción de asfalto, lo que implica una disminución en el contenido de asfalto efectivo, que determina una disminución en el VAM. Con la incorporación de cal, se observa una clara disminución en los valores VAM, dada la disminución de los vacíos en la mezcla.

- Los vacíos llenos con asfalto (VFA) registraron un aumento en sus valores debido a la incorporación de cal (efecto de la reducción en el contenido de vacíos). En cuanto a las mezclas elaboradas con ligantes asfálticos modificados con polímeros, hay una tendencia a que el VFA disminuya.

- Se determinó que la absorción de ligante asfáltico se ve más afectada por los cambios presentados en la densidad del ligante asfáltico que por los cambios en la viscosidad. Esto se puede respaldar con el hecho que, durante la etapa de mezclado, el agregado absorbe más cantidad de ligante asfáltico, y durante esta etapa, la viscosidad no juega un papel tan importante como la densidad, ya que el mezclado siempre se realiza a una misma viscosidad.

- El cambio en las propiedades de consistencia (viscosidad y penetración) del ligante asfáltico modificado con polímeros no es determinante para asegurar un aumento en la estabilidad.

- Entre menor sea el contenido de ligante, el efecto de los modificantes se relaciona menos con cambios en el parámetro de flujo.

#### 4. CONCLUSIONES

Considérense las siguientes conclusiones, que se refieren explícitamente a la materia prima usada en este estudio y las condiciones experimentales

aplicadas.

- El uso de ligantes modificados con polímeros incide en dos aspectos fundamentales en el procesamiento de mezcla asfáltica: a) es posible mejorar la resistencia a la deformación plástica y al agrietamiento térmico (al menos con respecto a la contribución del ligante asfáltico a dichos aspectos), b) determina cambios volumétricos importantes (cambios en el porcentaje de asfalto efectivo, porcentaje de asfalto absorbido y el porcentaje de vacíos llenos con asfalto).

- Hay evidencia de que la modificación de ligantes no determina cambios significativos en las propiedades de estabilidad y flujo Marshall.

- Hay evidencia de que los cambios en consistencia para el ligante asfáltico no son tan relevantes para la absorción de asfalto como los cambios en la densidad, producto de la modificación. Son igualmente importantes el contenido de asfalto y el tipo de ligante asfáltico base.

- La evaluación de los ligantes asfálticos modificados debe comprender evaluación reológica por grado de desempeño SUPERPAVE. Se ha encontrado que no existen correlaciones importantes para las mediciones de consistencia a diversas temperaturas (por ejemplo ente 25°C y 60°C), no entre la pérdida de masa por calentamiento y los indicadores de susceptibilidad al envejecimiento (índice de susceptibilidad térmica por ejemplo).

#### 5. REFERENCIAS

1. *American Association of State and Transportation Officials (AASHTO). Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. Tomo 1. 19 Edición. 1998.*
2. *Arenas Lozano Hugo. Tecnología del cemento asfáltico. Editorial FAID. Colombia. 1999.*
3. *Asphalt Institute. Performance Grade Asphalt Binder Specification and Testing. SUPERPAVE. Series No. 1. 1995.*
4. *Plastómero Chemical Company. Polímero plastómero EE-2, un modificador de ligante asfáltico para caminos. Folleto. Octubre 1996.*

