Apreciado Ingeniero:

A continuación damos respuesta a las recomendaciones propuestas por el par evaluador para el artículo denominado *Evaluación del efecto del envejecimiento en el horno de película delgada del cemento asfáltico 80-100 en el comportamiento mecánico (estático y dinámico) de mezclas asfálticas tipo mdc-2*, sometido a consideración en su revista. A continuación enunciaremos cada uno de los aspectos mencionados por el evaluador y la respuesta o comentario respectivos.

1. **En el titulo no debería ir el término mecánico, solo colocar, sin paréntesis, los términos estático y dinámico.**

Respuesta: El título se modificó de acuerdo con lo sugerido por el evaluador:

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL ENVEJECIMIENTO EN EL HORNO DE PELÍCULA DELGADA DEL CEMENTO ASFÁLTICO 80-100 SOBRE EL COMPORTAMIENTO ESTÁTICO Y DINÁMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIPO MDC-2.

1. **En la página 2, párrafo 4, la redacción no es clara, no se entiende lo que se desea manifestar.**

Respuesta: Se mejoró la redacción de dicho párrafo y quedó de la siguiente manera (haciendo una relación con el párrafo que continua):

*En las especificaciones actuales para clasificación de asfaltos mediante metodología Superpave (por sus siglas en inglés Superior Performing Asphalt Pavement), el potencial de ahuellamiento es verificado haciendo uso de una muestra de asfalto original y otra luego de realizar el envejecimiento en RTFO, mientras que el potencial de fisuración (debida a fatiga y a cambios térmicos) es corroborado mediante el envejecimiento por medio del PAV (por sus siglas en inglés Pressure Aging Vessel).*

*Dado que la literatura sugiere que el envejecimiento de asfaltos en el RTFO representa de manera cercana el envejecimiento generado durante el proceso de fabricación de las mezclas asfálticas, surge la necesidad de estudiar las mezclas con asfalto envejecido elaboradas con materiales encontrados en el medio colombiano con el objeto de evaluar la incidencia de dicho asfalto envejecido en las propiedades estáticas y dinámicas de las mezclas asfálticas.*

1. **La página 2, párrafo 5, enuncia que Robert et al, 1994, evaluó (evaluaron) el comportamiento de mezclas MDC-2 estáticamente y dinámicamente. Se recomienda verificar esta afirmación, pues puede corresponder mucho más a una evaluación de algunas mezclas con el efecto de envejecimiento que se pretende estudiar en el artículo. Adicionalmente, a partir de este trabajo citado se sugiere explicitar el aporte de los autores a partir de este antecedente**

Respuesta: Es importante aclarar en esta sugerencia, que no se pretendía tomar una investigación de referencia o antecedente, tan solo se quería citar una fuente que sirvió como procedimiento para realizar el diseño Marshall y por lo tanto no se explicará ningún tipo de aporte asociado a este numeral y se elimina la referencia 10 (Roberts, Freddy L. Hot mix asphalt materials, mixture design and construction. United States of America : NAPA, Reserch and Education Foundation., 1994) debido a que es una metodología de conocimiento técnico general. A continuación se presenta la modificación en el documento.

*Para evaluar el efecto del envejecimiento en el RTFO del cemento asfáltico 80-100 en el comportamiento dinámico de mezclas asfálticas tipo MDC-2, se realizó un diseño de mezclas tipo Marshall de referencia junto con la elaboración de muestras resultado del diseño, evaluando las propiedades estáticas y dinámicas de la mezcla. Posteriormente fue evaluada una mezcla asfáltica que conservó las dosificaciones del diseño original y en donde fue reemplazado el cemento asfáltico original por asfalto envejecido en el RTFO (INV E 720,2007). A continuación se detalla la caracterización física realizada tanto a los materiales usados en la elaboración de las mezclas como la caracterización mecánica de las mezclas asfálticas fabricadas con el asfalto original y envejecido.*

1. **Página 3, 2 párrafo: si el valor de equivalente de arena no cumple las condiciones mínimas establecidas en la ley colombiana esto sugeriría que el estudio no tiene validez. Como enuncian los autores dicha falencia genera pérdida de adherencia en la mezcla, la cual depende directamente de las propiedades mecánicas y dinámicas que evalúan y que es la base del artículo. Sería necesario demostrar mediante un ensayo la magnitud de la perdida de dicha adherencia y cuánto afecta el asfalto en estado original y en estado envejecido. Esta consideración es indispensable para poder hacer un análisis de los datos referidos en el artículo.**

Respuesta: Se realizó el ensayo de azul de metileno para corroborar que los finos no fueran potencialmente dañinos. Es relevante resaltar, que el objeto del ensayo de equivalente de arena es determinar la proporción relativa de polvo nocivo o material arcilloso en los agregados fino (limpieza de los agregados). Partiendo de dicha definición y de forma complementaria se realizó el ensayo de azul de metileno para determinar la cantidad de material potencialmente dañino incluyendo arcillas y material orgánico, obteniendo un valor de 6, considerado de acuerdo al procedimiento de ensayo como de excelente desempeño anticipado para mezclas asfálticas.

La cuantificación de la adherencia fue evaluada mediante el ensayo de adherencia en bandeja tanto para el asfalto original como para el envejecido. Los resultados encontrados de adherencia se señalan en la tabla No 2.

A continuación se presenta una modificación realizada en el documento.

*Las propiedades medidas de los agregados combinados cumplen con las especificaciones del artículo 400 del INVIAS (2007), a excepción del valor del equivalente de arena. Con el fin de evaluar el potencial de daño que puedan generar los finos se realizó el ensayo de azul de metileno, encontrando un valor de 6 que es considerado como de excelente desempeño anticipado para mezclas asfálticas.*

*Dado que la comparación de las mezclas con asfalto envejecido y sin envejecer se realiza utilizando el mismo agregado, se considera que los finos afectan de igual manera las mezclas a comparar y por lo tanto la incidencia en las propiedades medidas para ambas mezclas, será en las mismas condiciones*

1. **Página 4, párrafo 1: revisar las unidades en las que se expresa el ángulo de fase del asfalto envejecido.**

Respuesta: Se corrigieron las unidades. En el texto aparece el valor expresado de la siguiente manera: *84.84°.*

1. **Página 4, párrafo 2: cuando se enuncia el comportamiento elastoviscoso del asfalto mediante ensayos en el DSR y lo determinan a 58°C se sugiere indicar fue el criterio para determinar dicha temperatura. En caso de que el procedimiento utilizado fuera por PG, se recomienda enunciarlo.**

Respuesta: Se modifica el texto, aclarando que la temperatura evaluada corresponde a la temperatura máxima de desempeño del asfalto de acuerdo al procedimiento para la clasificación de asfaltos por grado de desempeño (PG) de acuerdo a metodología Superpave.

A continuación se presenta la modificación en el documento.

*El asfalto envejecido presenta una disminución del ángulo de fase  con su subsecuente aumento en la rigidez del material a una temperatura de 58°, determinando esta último valor como la temperatura máxima de desempeño de acuerdo al procedimiento para la clasificación de asfaltos por grado de desempeño (PG) de acuerdo a metodología Superpave .*

1. **La Figura 1 muestra los módulos viscoso y elástico de los asfaltos, pero crea una curva con dos puntos en ellos. Sería conveniente explicar el comportamiento de dicha curva, ya que el asfalto debido a sus propiedades cambia con la temperatura y no se puede crear una curva con solo dos datos.**

Respuesta: Se elimina la figura No 1 (Efecto del envejecimiento en el asfalto en el módulo complejo y en el ángulo de fase para una temperatura de 58°C) con el objeto de no generar incertidumbre entre los lectores, aclarando que la gráfica representaba un punto de temperatura a 58° y no la variación de los resultados con respecto a varias temperaturas.

A continuación se presenta una modificación adicional hecha al documento.

*El asfalto envejecido presenta una disminución del ángulo de fase  con su subsecuente aumento en la rigidez del material a una temperatura de 58°, determinando esta último valor como la temperatura máxima de desempeño de acuerdo al procedimiento para la clasificación de asfaltos por grado de desempeño (PG) de acuerdo a metodología Superpave . El ángulo de fase del asfalto original fue de 87.35°, mientras que el del asfalto envejecido fue de 84.84°. El módulo complejo G\* presentó valores de 1625.3 Pa para el asfalto original, mientras que para el asfalto envejecido el valor de G\* fue de 3448 Pa, presentado una relación modular de 2.12.*

1. **Figura 2: las curvas de viscosidad contra temperatura se presentan sólo hasta 100°C. Es necesario extender las curvas hasta la temperatura de mezcla o compactación, dato importante de la viscosidad en mezclas asfálticas y en donde verdaderamente se necesita la viscosidad de asfaltos convencionales o en caso contrario, explicar las razones para no hacerlo.**

Respuesta: La curva de viscosidad se realizó con el DSR hasta una temperatura de 100°C aclarando, que de acuerdo con el fabricante del reómetro y el personal técnico de instalación, se recomendó no llevar el equipo a temperaturas superiores a dicho valor, con el fin de no aumentar la incertidumbre en los resultados,. Esto debido principalmente a la pérdida de contacto entre la muestra y la geometría del equipo por cambios en la viscosidad del asfalto. Adicionalmente se anota lo siguiente que fue incluido en el texto del artículo:

*La figura No. 1 ilustra el aumento de la viscosidad del asfalto envejecido con respecto al original, medido con el DSR, en un intervalo de temperatura de 20°C a 100°C, donde este último valor es definido de acuerdo a la disminución de la viscosidad y la pérdida de contacto entre la muestra de asfalto y la geometría dispuesta en el reómetro. Las temperaturas de mezcla y compactación de la mezcla asfáltica fueron determinadas sobre el asfalto original con el equipo de viscosidad rotacional (INV E 717,2007).*

1. **Página 7: la cantidad de muestras utilizadas (tres por cada variable) es insuficiente para poder hacer un análisis estadístico y derivar conclusiones de ello. Se recomienda incluir un mayor número de observaciones en función de las variables a estudiar, la prueba piloto y la variabilidad de los datos que permitan tener unos resultados estadísticamente válidos o confiables. De no ser esto posible se recomienda que los resultados no están sustentados en este tipo de medidas estadísticas.**

Respuesta: Las normas técnicas con las que se hicieron las pruebas de laboratorio y las referencias consultadas involucran la ejecución de ensayos de laboratorio a tres temperaturas y a tres frecuencias y en cada caso se registraron para tres probetas diferentes. A cada briqueta ensayada mediante la normas se les realizaron varias repeticiones en la medición. Por ejemplo en los ensayos hechos con la norma INV E 754 se tomaron 8 mediciones de módulo dinámico para cada temperatura y frecuencia estudiada. De acuerdo con lo anterior para cada valor de frecuencia en cada una de las isotermas se tienen asociados 24 datos de módulo dinámico; de esta manera cada una de las líneas de tendencia para el módulo dinámico se grafica mediante 72 datos. Esto claramente es superior a los 3 datos indicados por el evaluador. Con el fin de aclarar esta situación y para mostrar la dispersión estadística total se incluyen ahora en las Figuras 4 y 8 la totalidad de los datos registrados en el Laboratorio para los ensayos realizados.

Con tal cantidad de datos estadísticos reportados, los análisis basados en mínimos cuadrados para las líneas de tendencia central, complementada con sus respectivos intervalos de confianza, para las isotermas de módulos dinámicos y resilientes es suficientemente contundente para emitir juicios comparativos. Este volumen de datos hacen los resultados estadísticamente válidos a la luz de referencias estadísticas consltadas.

Por otro lado las líneas de tendencia central de las figuras 5, 6 y 9 (curva maestra, deformación permanente y fatiga) se grafican mediante mínimos cuadrados con mucho más de 3 datos. De nuevo los intervalos de confianza para dichas líneas de tendencia central son la herramienta idónea para emitir juicios comparativos entre las dos mezclas analizadas.

En el documento se modifican las figuras 4 y 8 para incluir todos los datos medidos para los ensayos de módulo dinámico y resiliente.

Adicionalmente el siguiente texto fue incluido en el artículo:

*Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 8. En total se ensayaron tres probetas de cada mezcla; y para cada temperatura y cada frecuencia se reportan tres mediciones promedio de módulo dinámico. A cada briqueta ensayada mediante la normas se les tomaron 8 mediciones de módulo dinámico para cada temperatura y frecuencia estudiada. De acuerdo con lo anterior para cada valor de frecuencia en cada una de las isotermas se tienen asociados 24 datos de módulo dinámico; de esta manera cada una de las líneas de tendencia para el módulo dinámico se graficaron con 72 datos.*

1. **Las conclusiones presentadas son muy globales; se debería cuantificar realmente el efecto del asfalto envejecido en el comportamiento mecánico y dinámico de la mezcla y la incidencia del tipo de asfalto. Se recomienda revisar y mejorar las conclusiones.**

Respuesta: Se realizan las modificaciones de las conclusiones indicando la aplicación que puede tener el estudio en el diseño de pavimentos. Así mismo se redactan nuevamente las conclusiones. El texto definitivo de las conclusiones se presenta a continuación.

* *Al envejecer el cemento asfáltico en el horno de película delgada, se encuentra que los asfaltos evaluados (envejecido y original) presentan una variación importante con respecto a sus propiedades reológicas y al índice de penetración lo cual es un indicativo de que el cemento asfáltico se envejece debido a la volatilización de sus componentes. Al realizar la medición de las propiedades reológicas de los asfaltos estudiados, se observa el aumento del módulo de corte G\* en el asfalto envejecido y la disminución del ángulo de fase . El ángulo de fase del asfalto original fue de 87.35°, mientras que el del asfalto envejecido fue de 84.84°. El módulo complejo G\* presentó valores de 1625.3 Pa para el asfalto original, mientras que para el asfalto envejecido el valor de G\* fue de 3448 Pa, presentado una relación modular de 2.12.*
* *El envejecimiento de los asfaltos genera un aumento en la rigidez del asfalto y por lo tanto en la de la mezcla asfáltica. Esto se evidencia, en el comportamiento estático de la mezcla asfáltica fabricada con el asfalto envejecido. La estabilidad de la mezcla con asfalto original es el 82% de la estabilidad de la mezcla con asfalto envejecido y la relación estabilidad – flujo presenta un incremento para las mezclas fabricadas con el asfalto envejecido de un 8% con respecto a las fabricadas con el asfalto sin envejecer, lo que indica una aumento en la rigidez de la mezcla.*
* *La rigidez de la mezcla asfáltica envejecida presenta similitud con la mezcla asfáltica original en los valores de módulo resiliente para temperaturas bajas y frecuencias de aplicación de carga altas, probablemente porque para la temperatura de 10ºC el comportamiento viscoelástico del material no alcanza a desarrollarse en su totalidad. A la luz de la evidencia estadística y con base en los intervalos de confianza, lo módulos resilientes a temperaturas altas (20 y 30 ºC) presentan incrementos de hasta el 21% siendo más rígida la mezcla con asfalto envejecido.*
* *La evidencia estadística y los intervalos de confianza estimados para los ensayos de módulo dinámico (cargas axiales) permiten afirmar que la mezcla con asfalto envejecido es más rígida que la mezcla elaborada con asfalto original para todas las frecuencias y temperaturas estudiadas. El módulo dinámico de la mezcla con asfalto envejecido puede llegar a ser hasta un 10.5 % superior al módulo de la mezcla con asfalto original para la misma temperatura y la misma frecuencia.*
* *La deformación permanente de la mezcla con asfalto envejecido es el 66% de la deformación permanente de la mezcla con asfalto original. Las probetas fabricadas con asfalto envejecido presentan una disminución en la deformación permanente con respecto a las fabricadas con asfalto original, lo cual corrobora que la mezcla se rigidiza al envejecer el asfalto. No obstante ambas tienen una deformación inferior al límite de referencia del 1%.*
* *Los análisis estadísticos indican que no se puede establecer una diferencia entre la vida de fatiga de la mezcla con asfalto original y la envejecida.*
* *Los resultados de las variaciones entre la mezcla asfáltica original y la envejecida, deben ser tenidos en cuenta al seleccionar los parámetros de módulo y fatiga requeridos en los diseños de pavimentos con el objeto de que sean tenidas en cuenta el cambio en las propiedades mecánicas del material debido al proceso de mezclado, colocación y compactación de la mezcla en obra.*

Esperamos que las anteriores observaciones y/o correcciones realizadas al texto del artículo correspondan a lo solicitado por el evaluador.

Adjunto a esta comunicación encontrará la versión mejorada del artículo con los cambios realizados al documento. En el documento se resaltan en color rojo las principales modificaciones realizadas.