

# Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

Jossue Torres Sotelo

jtorres@apcl.mx

Jonathan De Santiago Marquez

Jdsm\_0103@hotmail.com

Pedro Limón Covarrubias

pedro.limon@academicos.udg.mx

Alondra Vanessa López Candelario

alopez@apcl.mx

Itzel Aceves Becerra

itzelaceves.01@gmail.com

La necesidad de someter los pavimentos flexibles a cantidades elevadas de tránsito que sobrepasan los niveles requeridos de proyecto como también la exposición a las condiciones climatológicas adversas generan que en la carpeta asfáltica presente fallos como: fisuras, grietas por fatigamiento, baches, estos se consideran como los principales mecanismos de falla en los pavimentos asfálticos haciendo esto el recurrente mantenimiento de la carpeta asfáltica y provocando así que no cumpla con la vida útil de proyecto

En este artículo se evaluó el comportamiento del valor de Jnr de 8 asfaltos (7 asfaltos PG 76 – 16 y 1 asfalto PG 64 – 22), mediante el análisis de dos tipos de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas. El primero, mediante el ensayo (SCB) se determinó el agrietamiento (energía de fractura e índice de flexibilidad) por el método de la universidad de Illinois y la rueda cargada de Hamburgo (HWT) que determina la deformación permanente de dichas mezclas asfálticas. El segundo mediante Ideal Cracking (IDEAL CT) siendo este un nuevo método para la medición del agrietamiento en mezclas asfálticas y la rueda cargada de Hamburgo (HWT).

De los resultados obtenidos, se analizó el efecto de los ligantes asfálticos en el valor de Jnr y en los ensayos mecánicos se compararon las roderas, los ensayos de agrietamiento (SCB e Ideal CT). Otro objetivo fue la correlación del valor de Jnr, respuesta elástica (RE) y recuperación elástica por torsión con las pruebas de desempeño, en rueda cargada de Hamburgo, índice de flexibilidad e ideal cracking.

**Palabras Clave:** Ideal Cracking, Asfalto modificado, BMD, Jnr

The need to subject flexible pavements to high amounts of traffic that exceed the required project levels, as well as exposure to adverse weather conditions, causes failures in the asphalt layer such as: fissures, fatigue cracks, potholes, these are considered as the main failure mechanisms in asphalt pavements, resulting in recurring maintenance of the asphalt layer and thus causing it to not meet the useful life of the project.

In this article, the behavior of the Jnr value of 8 asphalts (7 asphalts PG 76 - 16 and 1 asphalt PG 64 - 22) was evaluated by analyzing two types of balanced design (BMD) of asphalt mixtures. The first, through the (SCB) test, the cracking (fracture energy and flexibility index) was determined by the method of the University of Illinois and the Hamburg loaded wheel (HWT) that determines the permanent deformation of said asphalt mixtures. The second is through Ideal Cracking (IDEAL CT), this being a new method for measuring cracking in asphalt mixtures and the Hamburg loaded wheel (HWT).

From the results obtained, the effect of asphalt binders on the Jnr value was analyzed and in the mechanical tests the ruts and cracking tests (SCB and Ideal CT) were compared. Another objective was the correlation of the Jnr value, elastic response (RE) and elastic recovery due to torsion with the performance tests, in a loaded Hamburg wheel, flexibility index and ideal cracking.

**Keywords:** Ideal Cracking, Modified Asphalt, BMD, Jnr

# Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos asfálticos sufren diferentes fallos en los cuales son principalmente la deformación y el agrietamiento. Esto conlleva que con el paso del tiempo el pavimento se vaya deteriorando y sufra un cambio en la carpeta asfáltica, se comience a fracturar y que tenga un daño que no se logre reparar con un tratamiento superficial, sino que la única opción es su reconstrucción nuevamente.

El agrietamiento es un mecanismo de falla en el cual un pavimento tiende a deteriorarse, provocando pequeñas grietas que mediante cargas de tránsito elevadas (excedidas en algunos de los casos) y algunos factores como son el clima provocan que los pavimentos comiencen a tener fisuras superficiales que con el paso del tiempo se vayan al interior del pavimento provocando su desgaste.

Algunas de las causas se deben a estos deterioros en los pavimentos es a: inadecuado proyecto, mal diseño de mezclas asfáltica, calidad de los materiales no sea la adecuada o el proceso constructivo del mismo hace que presente estos tipos de fallos.

En la actualidad la mayoría de los diseños de mezclas asfáltica se aplican con un asfalto modificado del cual se tiene comprobado que les mejoran las propiedades mecánicas a la mezcla asfáltica, la resistencia aumenta, disminuye su deformación permanente, su elasticidad es mayor y a largo plazo presentan un mejor desempeño mecánico, es por ello que es de suma importancia la aplicación correcta en la selección del asfalto para el diseño de un pavimento que cumpla al desempeño mecánico en deformación permanente y en agrietamiento.

## 2. OBJETIVO

Evaluar el valor de Jnr de diferentes asfaltos modificados y observar su desempeño mediante ensayos mecánicos y de desempeño como son: SCB índice de flexibilidad (FI) e ideal cracking (IDEAL CT) y rueda cargada de Hamburgo con diferentes contenidos de asfalto y proponer unos diseños balanceados en la cual la mezcla cumpla en agrietamiento como en rodera.

## 3. PLAN EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo el estudio se desarrolló un plan de trabajo de 3 fases, la cual consistió en la primera fase la modificación de los asfaltos para este caso se trabajaron con 2 polímeros muy usados en el ámbito los cuales fueron el SBS y el RET. También se trabajó con el ácido polifosfórico que funciona como un modificador del asfalto que ayuda a cambiar sus propiedades reológicas, y para concluir con la selección de los asfaltos se agregó uno último el cual fue un asfalto oxidado mediante inyección de aire que funciona como un promotor de endurecimiento, todos los asfaltos se modificaron PG 76 – 16 a excepción del sin modificar PG 64 - 22 esta fase concluyó con las pruebas en calidad del asfalto las cuales fueron: Recuperación elástica por torsión, Jnr y respuesta elástica (%RE)

La segunda fase consistió en la fabricación de los especímenes para los diferentes ensayos de desempeño propuestos a analizar. En la fabricación de los especímenes de SCB y rueda cargada de Hamburgo se propuso que se trabajaran 3 contenidos de asfalto los cuales fueron: el % óptimo, % óptimo + 0.5% y % óptimo – 0.5%, con la finalidad de observar el comportamiento en las mezclas asfálticas en cuestión del contenido de asfalto, para los ensayos de ideal Cracking se trabajó únicamente con el óptimo de asfalto.

La tercera fase de experimentación fue el cálculo y análisis de resultados obtenidos, en el cual se obtuvieron las energías de fractura e índice de flexibilidad de las mezclas SCB y también se determinó la deformación permanente en rueda cargada de Hamburgo haciendo ahí el primer diseño balanceado que es Índice de flexibilidad vs Deformación en la rodera. El segundo caso de diseño balanceado fue con IDEAL CT vs Deformación de la rodera únicamente con el óptimo de asfalto en las mezclas asfálticas fabricadas, como se observa en la figura 1.

## 4. METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN

### 4.1 Calidad de los cementos asfálticos

Existe una norma mexicana para los análisis de los cementos asfálticos la cual determina la calidad de estos

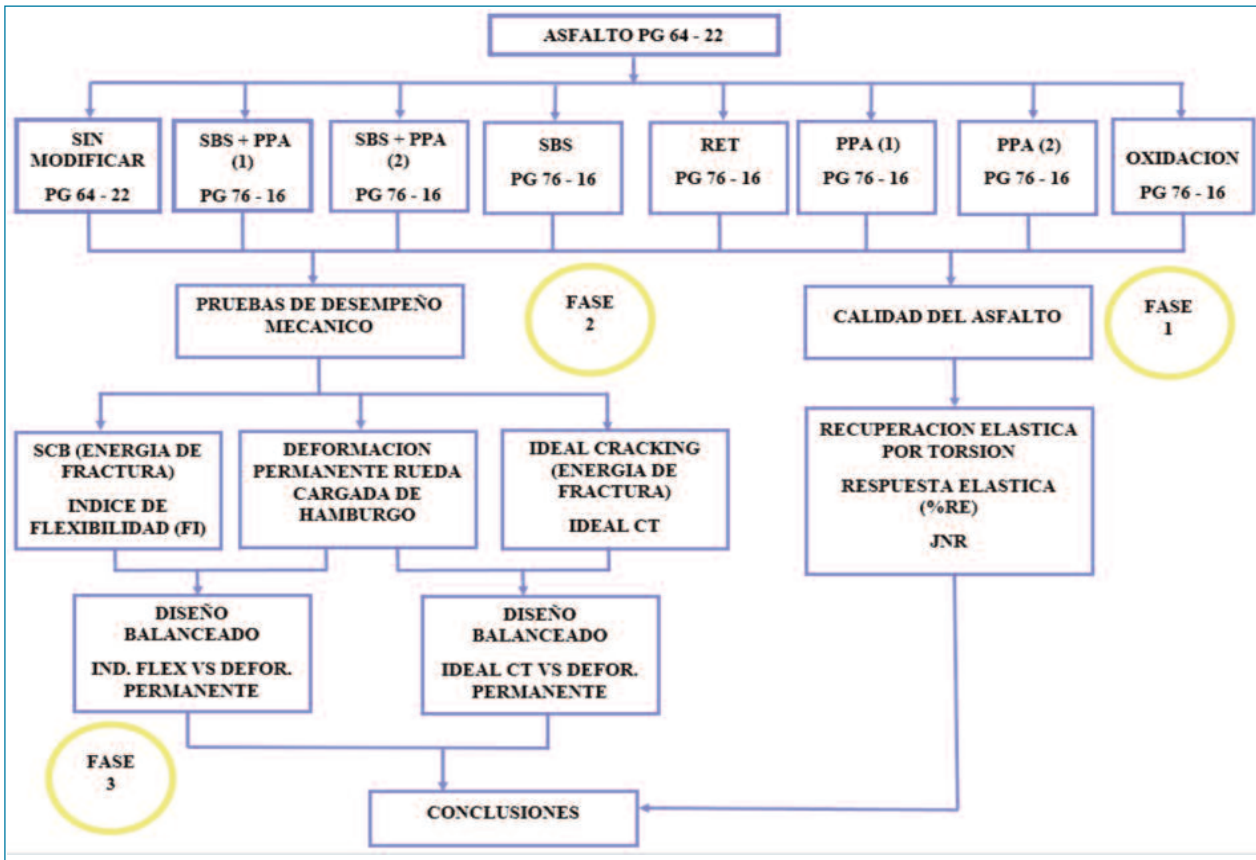


Figura 1. Plan experimental

mismos.

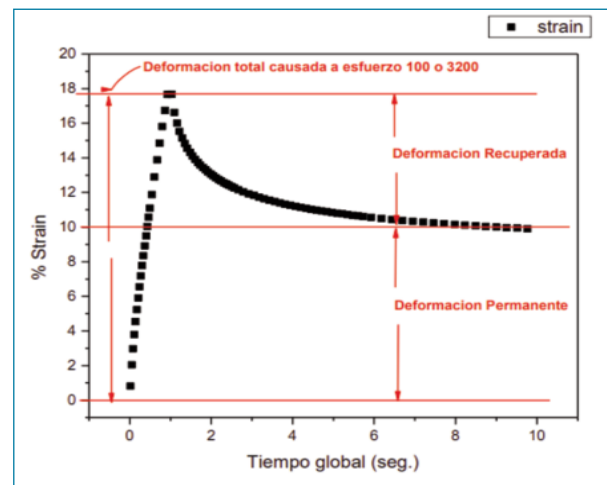
El grado PG del asfalto se obtiene mediante la reología del cemento asfáltico, caracterizando su temperatura de falla del mismo.

Para el análisis de los cementos asfálticos tomamos en consideración el grado PG, Jnr, recuperación elástica por torsión y % de respuesta elástica.

#### 4.2 Deformación no recuperable (Jnr)

Para predecir el desempeño del asfalto en un pavimento y que este cumpla con la vida útil diseñada existe un parámetro efectivo y probado. Jnr es la deformación no recuperable (deformación permanente) generada al aplicar una unidad de esfuerzo. Donde a menor Jnr, menor será la deformación permanente al aplicar una carga. [1]. Esta prueba o valor se obtiene mediante el uso del reómetro de corte, mediante el MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery). El Jnr su valor se caracteri-

za por una letra, la cual, esta letra se considera con base al nivel de tráfico que sería el diseño del pavimento asfáltico.



Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

**TABLA 2.- Requisitos de calidad para cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) y nivel de ajuste**

GRADO DE DESEMPEÑO (PG)	PG 64		PG 70		PG 76		PG 82	
	-16	-22	-16	-22	-16	-22	-16	-22
Temperatura máxima del pavimento <sup>[1]</sup> , °C	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento <sup>[1]</sup> , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
<b>Cemento asfáltico original</b>								
Punto de inflamación Cleveland <sup>[2]</sup> , °C, mín.	230							
Viscosidad rotacional 135°C <sup>[2]</sup> , Pa·s, máx.	3							
Punto de reblandecimiento <sup>[2]</sup> , °C, mín.	48				55			
Separación, diferencia anillo y esfera <sup>[2]</sup> , °C, máx.	-				2			
Recuperación elástica por torsión 25°C <sup>[2]</sup> , %, mín.	-				35			
Módulo reológico de corte dinámico <sup>[2]</sup> (G*/sen δ) <sup>[2]</sup> , kPa, mín.	1,0							
- Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	
<b>Después de envejecimiento en horno RTFO <sup>[2]</sup></b>								
Pérdida por calentamiento <sup>[2]</sup> , %, máx.	1,0							
Recuperación elástica en ductilómetro <sup>[5]</sup> , 25°C, %, mín.	-				75			
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ) <sup>[2]</sup> , kPa, mín.	2,2							
- Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	
Traffic Normal "S", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup>	4,0							
- Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [4]</sup> ; kPa-1, máx.	4,0							
- Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
- Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [6]</sup> ; %, mín.	-				25			
Traffic Alto "H", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup>	2,0							
- Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [4]</sup> ; kPa-1, máx.	2,0							
- Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
- Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [6]</sup> ; %, mín.	-				25			
Traffic Muy Alto "V", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup>	1,0							
- Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [4]</sup> ; kPa-1, máx.	1,0							
- Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
- Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [6]</sup> ; %, mín.	-				30			
Traffic Extremadamente Alto "E", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup>	0,5							
- Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [4]</sup> ; kPa-1, máx.	0,5							
- Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
- Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2] [6]</sup> ; %, mín.	-				40			

Figura 2. Requisitos de calidad cementos asfálticos

Temperatura	Intensidad de tráfico (en ejes equivalentes)	Grado	"J <sub>nr,3200</sub> "	RE <sub>3200</sub> (%)
Seleccionada de acuerdo al mapa de regiones geográficas (zonas por clima)		No cumple	> 4	
	< 3 millones	Estándar (S)	2 a 4	≥0
	> 3 < 10 millones	Pesado (H)	1 a 2	≥25
	> 10 < 30 millones	Muy pesado (V)	0,5 a 1	≥30
	> 30 millones	Extremo (E)	≥ 0,5	≥40



### 4.3 Rueda cargada de Hamburgo

La rueda cargada de Hamburgo nos permite evaluar la susceptibilidad a la deformación permanente y al daño inducido por humedad en mezclas asfálticas en caliente, usando especímenes bajo la acción de una rueda oscilante en el equipo de rueda de Hamburgo [2]. El ensayo se realizó de acuerdo a la norma AASHTO T324 (2016), los especímenes de mezcla asfáltica previamente acondicionados y sumergidos en agua dentro del equipo a  $50 \pm 1^\circ\text{C}$ , con 7% de vacíos  $\pm 1$  [2].



Figura 3. Rueda de Hamburgo

### 4.4 Ensayo SCB

El ensayo SCB se implementó para estudiar la resistencia al agrietamiento y la fractura de mezclas asfálticas en Estados Unidos. El ensayo SCB es un procedimiento rápido, preciso y confiable el cual nos permite conocer la carga máxima y el desplazamiento a la carga máxima que podrá ser capaz de resistir una mezcla asfáltica en la capa del pavimento (carpeta asfáltica) antes de llegar a la falla [3]. Se utilizó el nuevo método de prueba AASHTO TP124 *Standard Método of Test for Determining the Fracture Potential of Asphalt Mixtures Using the Flexibility Index Test (FIT)*.

### 4.5 Índice de Flexibilidad (FI)

El índice de flexibilidad es un resultado que refleja la fragilidad que contienen las mezclas asfálticas, que se obtiene partiendo de la curva carga – desplazamiento en



Figura 4. Ensayo SCB

este caso del ensayo SCB [4].

En este artículo se utilizó el software desarrollado por la universidad de Illinois (I-FIT), en el cual mediante este software se capturaron los datos de la geometría de los especímenes analizados en el ensayo SCB y el registro de los datos de carga y desplazamiento que nos proporciona el ensayo semicircular Bending [5].

### 4.6 Diseño balanceado (BMD)

El Diseño Balanceado de Mezclas Asfálticas, es una nueva forma de diseño de mezcla asfáltica en el cual se evalúa el Índice de flexibilidad (SCB e ideal CT) vs la deformación permanente (en este caso rueda cargada de Hamburgo). La grafica de la Figura 5 está dividida en cuatro cuadrantes, en los cuales se identifica qué características tiene la mezcla asfáltica analizada y si esta puede o no ofrecer una adecuada serviciabilidad.

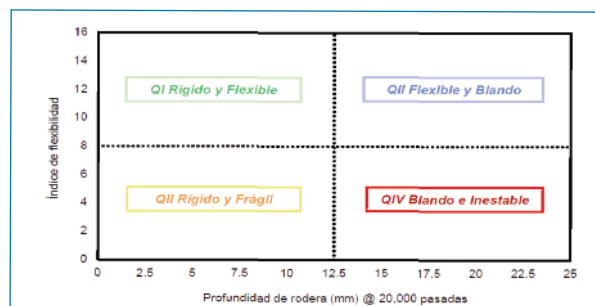


Figura 5. Gráfica para evaluar las características de las mezclas asfálticas [6]

A continuación, se describe cada uno de los cuadrantes

# Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

tes de la siguiente manera:

- **Rígido y flexible:** Mezclas asfálticas con bajo potencial de agrietamiento y alta resistencia frente a las deformaciones plásticas.
- **Flexible y blando:** mezclas asfálticas con suficiente capacidad para soportar el agrietamiento, pero potencialmente susceptibles a la formación de rodadas.
- **Rígido y frágil:** mezclas asfálticas sumamente resistentes a la deformación permanente, pero al mismo tiempo, bastante frágiles al agrietamiento
- **Blando e inestable:** mezclas asfálticas extremadamente deformables y vulnerables al agrietamiento con insuficiente capacidad para soportar las repeticiones de carga a cualquier temperatura.

tos y la facilidad de ejecución. Este análisis se realiza en base a la normativa ASTM D 8225, se recomienda un valor mínimo de IDEAL CT de 70 [7].

## 5.RESULTADOS OBTENIDOS

### 5.1 Calidad de asfaltos analizados

Como se observa en la tabla 1 todos los cementos asfálticos cumplen con el PG 76 a excepción del cemento asfáltico original el cual es nuestro punto de partida y el cual se usará a un PG 64 – 22. Los cementos asfálticos (asf. oxidado y el PG 64 – 22) no cumplen con el valor mínimo de recuperación elástica por torsión la cual es 35%. De igual manera los únicos cementos asfálticos que cumple con la respuesta elástica (%RE) por reóme-

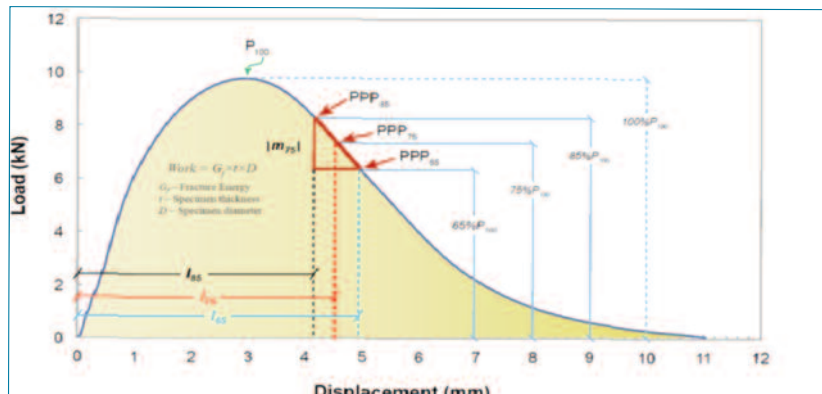


Figura 6. A) ensayo ideal cracking b) curva carga – desplazamiento

Tabla 1. Tabla 1. Análisis de asfaltos

Asfaltos modificados	Temperatura de falla °C	G*/Senδ] (kPa)	Rec. elástica por torsión (%)	Resp. elas. (%RE)	Valor de Jnr a 3.2 Kpa
PG64-22	68.9	1.48	8.8	1.23	2.857
SBS+PPA(1)	86.7	1.85	55.5	49.11	0.263
SBS+PPA(2)	80.6	1.72	48.3	13.2	1.535
PPA (1)	80.3	1.55	13.3	15.79	1.31
PPA (2)	76.8	1.36	12.7	73.75	0.124
RET + PPA	81.7	1.81	45	75.59	0.173
SBS	81.6	1.45	50	21.67	1.39
Asf.oxidado	77.6	1.45	11.6	3.79	1.713

### 4.7 Ideal Cracking

El ideal cracking es un ensayo en el cual se puede medir el agrietamiento de las mezclas asfálticas, ha tenido buena aceptación ya que no es un ensayo muy cos-

tro son los modificados SBS + PPA (1), PPA (2) y RET siendo su valor mínimo.

### 5.2 Energía de fractura SCB asfaltos analizados

Como se observa en la figura 6, las mezclas fabricadas con los 3 contenidos de cemento asfáltico mostraron resultados muy similares en la energía de fractura, mostrando así que en las mezclas asfálticas el ensayo SCB no se ve reflejado un cambio muy significativo el aumento o disminución del contenido de asfalto. El asfalto oxidado y el asfalto PPA (2) fueron los que obtuvieron de las mayores energías de fractura esto gracias a la rigidez del asfalto, el SBS + PPA (1) fue el que obtuvo la mayor energía de fractura.

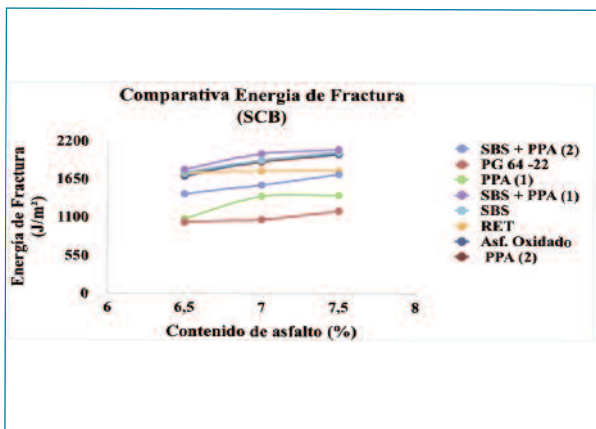


Figura 7. Resultados de energía de fractura SCB de los diferentes asfaltos

### 5.3 Índice de flexibilidad SCB asfaltos analizados

Como se muestra en la figura 7, en las mezclas asfálticas cuando su contenido de asfalto aumenta su valor de índice de flexibilidad es mayor, siendo muy pocos los asfaltos modificados que llegan a cumplir con su valor mínimo de 8 de índice de flexibilidad, los cuales fueron el asfalto modificado con SBS, SBS + PPA (1) y SBS + PPA (2). Mencionando que el uso de SBS en la modificación de asfalto mejora eficazmente su elasticidad.

### 5.4 Rueda cargada de Hamburgo de asfaltos analizados

Como se analiza en la figura 8, en algunas mezclas asfálticas que contienen el 0.5% más que el óptimo de

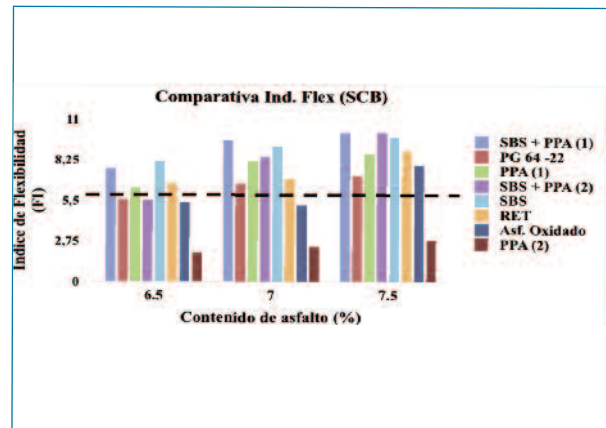


Figura 8. Resultados de índice de flexibilidad de los diferentes asfaltos analizados

asfalto presentan mayor deformación, esto nos da a entender que no siempre es mejor que las mezclas asfálticas se dosifique un poco más del asfalto requerido, también se logra apreciar que los asfaltos que tuvieron un mejor comportamiento en la recuperación elástica por torsión son los que mostraron una deformación más constante en sus contenidos encontrando así una correlación entre estos ensayos (Rueda cargada de Hamburgo y recuperación elástica por torsión) logrando así no pasar de una deformación máxima de 6mm.

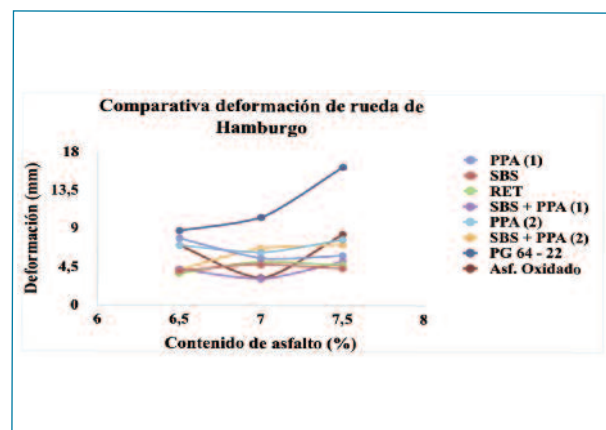


Figura 9. Resultados de deformación permanente HWT de los diferentes asfaltos

### 5.5 Ideal cracking comparativas curva carga – desplazamiento de asfaltos analizados al % óptimo de asfalto

Como se logra apreciar en la figura 9, el asfalto modi-

## Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

ficado con RET fue el que mostró la carga más alta, sin embargo, una vez que llega a su resistencia máxima y falla, la grieta se propaga rápidamente. Por otro lado, el asfalto modificado con SBS + PPA, aunque no haya obtenido la carga mas alta muestra una mayor resistencia a la fractura observándose en su curva que conserva el valor pico más tiempo y su caída es mas lenta siendo mas resistente a la propagación de la grieta.

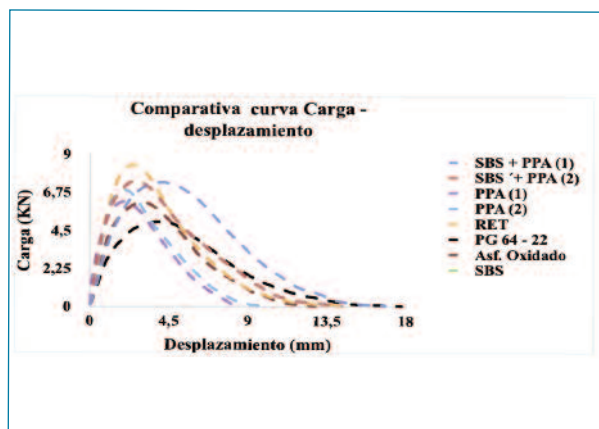


Figura 10. Resultados de carga – desplazamiento de asfaltos analizados

### 5.6 Ideal CT de asfaltos analizados con el 7.0% de asfalto

Como se observa en la figura 10, los asfaltos modificados con SBS + PPA fueron los que obtuvieron un mayor valor de IDEAL CT, por otro lado, los asfaltos modificados con PPA fueron los que obtuvieron los valores más bajos siendo estos menores de 70 que es el valor mínimo de IDEAL CT.

### 5.7 Diseño Balanceado Índice de flexibilidad vs Rodera (6.5%)

Como se muestra en la figura 11, todas las mezclas analizadas con los diferentes asfaltos cumplen en rodera, pero únicamente el asfalto modificado con SBS es el que cumple en deformación e índice de flexibilidad.

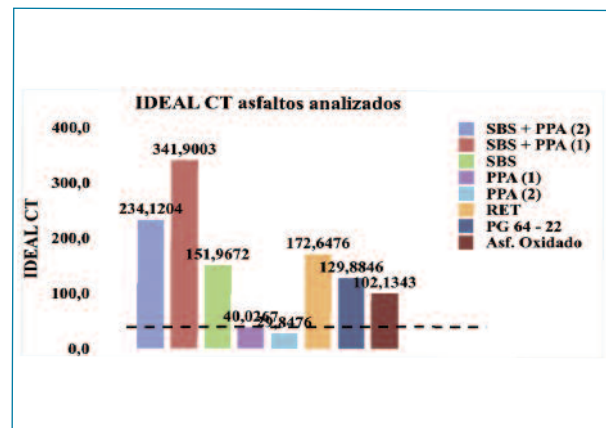


Figura 11. IDEAL CT de asfaltos analizados

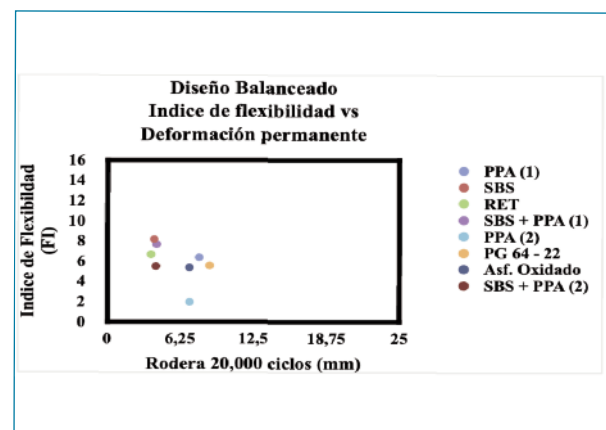


Figura 12. Diseño balanceado índice Flexibilidad vs Rodera al 6.5% de asfalto

### 5.8 Diseño Balanceado Índice de flexibilidad vs Rodera % Optimo de asfalto (7.0%)

Como se observa en la figura 12, todos los asfaltos cumplen con la deformación permanente permitida en rodera, pero no todos cumplen con el índice de flexibilidad, únicamente 4 asfaltos son los que cumplieron los cuales fueron: SBS + PPA (1), SBS + PPA (2), PPA (1) y SBS.

### 5.9 Diseño Balanceado Índice de flexibilidad vs Rodera (7.5%)

Como se logra apreciar en la figura 13, el único asfalto que no cumple tanto en índice de flexibilidad como en deformación permanente es el PG 64 – 22.



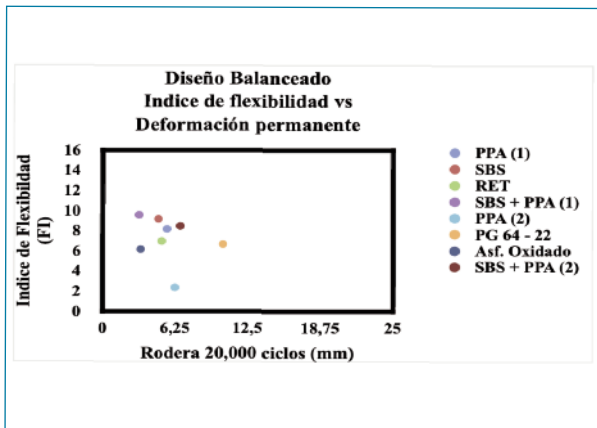


Figura 13. Diseño Balanceado Índice de flexibilidad vs Rodera 7.0% de asfalto

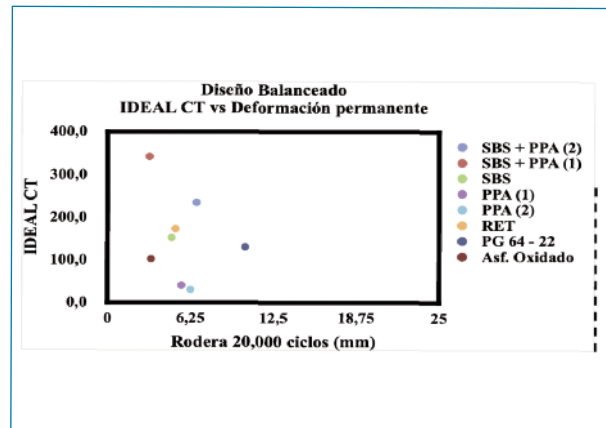


Figura 15. Diseño balanceado IDEAL CT vs rodera al 7.0 % de asfalto

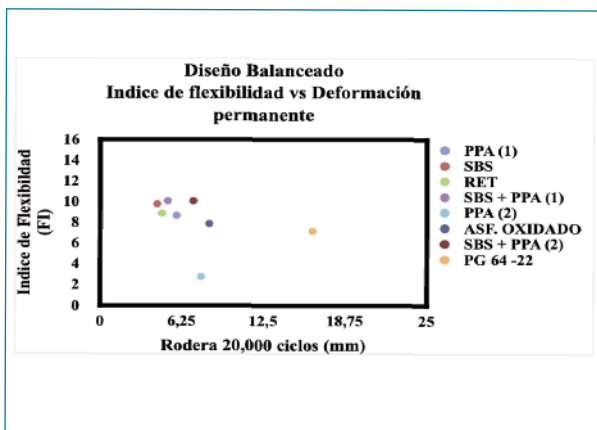


Figura 14. Diseño balanceado índice de Flexibilidad vs rodera al 7.5% de asfalto

### 5.10 Diseño Balanceado IDEAL CT vs Rodera % óptimo de asfalto (7.0%)

Como se muestra en la figura 14, todos los asfaltos

cumplieron con deformación permanente al % óptimo de asfalto y en valor de IDEAL CT (70 mínimo) los únicos que no cumplieron fueron los modificados con PPA siendo estos los que no cumplen con los resultados requeridos para un diseño balanceado propuesto IDEAL CT vs rodera.

## 6. CORRELACIONES

### 6.1 Correlaciones Recuperación elástica por torsión vs ensayos de desempeño mecánico

Como se observa en la figura 15, el modelo lineal propuesto para correlacionar la recuperación elástica por torsión (%) vs los ensayos de desempeño mecánico no se obtuvo un valor de R2 tan favorable, únicamente hay

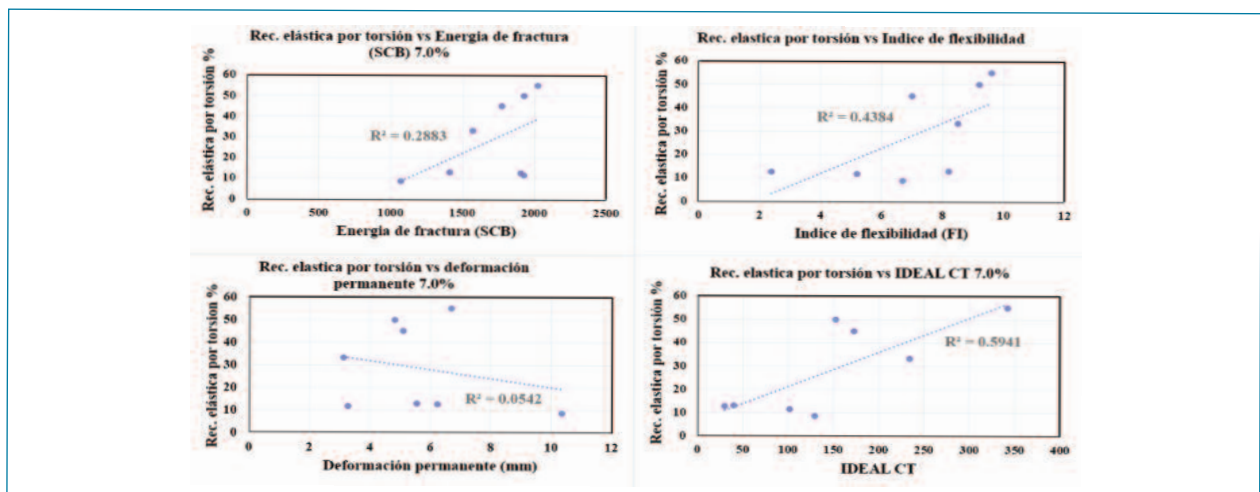


Figura 16. Correlaciones recuperación elástica por torsión vs ensayos de desempeño

# Análisis del valor de JNR y su influencia en los ensayos mecánicos, y de diseño balanceado (BMD) de mezclas asfálticas

una correlación mayor al 0.5 de R2 en el IDEAL CT.

## 6.2 Correlaciones valor Jnr vs ensayos de desempeño mecánico

Como se observa en la figura 16, el modelo lineal propuesto para correlacionar el valor de Jnr vs los ensayos de desempeño mecánico, en los ensayos para medir el agrietamiento en índice de flexibilidad, rueda cargada de Hamburgo e IDEAL CT su valor de R2 no es considerable ya que fue muy bajo.

propuesto para correlacionar el Respuesta Elástica (%RE) vs los ensayos de desempeño mecánico, no muestra un valor de R2 aceptable, es muy bajo en todos los ensayos propuestos anteriormente analizados.

## 7. CONCLUSIONES

1. La energía de fractura obtenida por SCB de los asfaltos modificados no muestra mucha diferencia entre ellos mismos, los valores son muy similares entre sí, por otra parte, la dosificación de un contenido mayor o me-

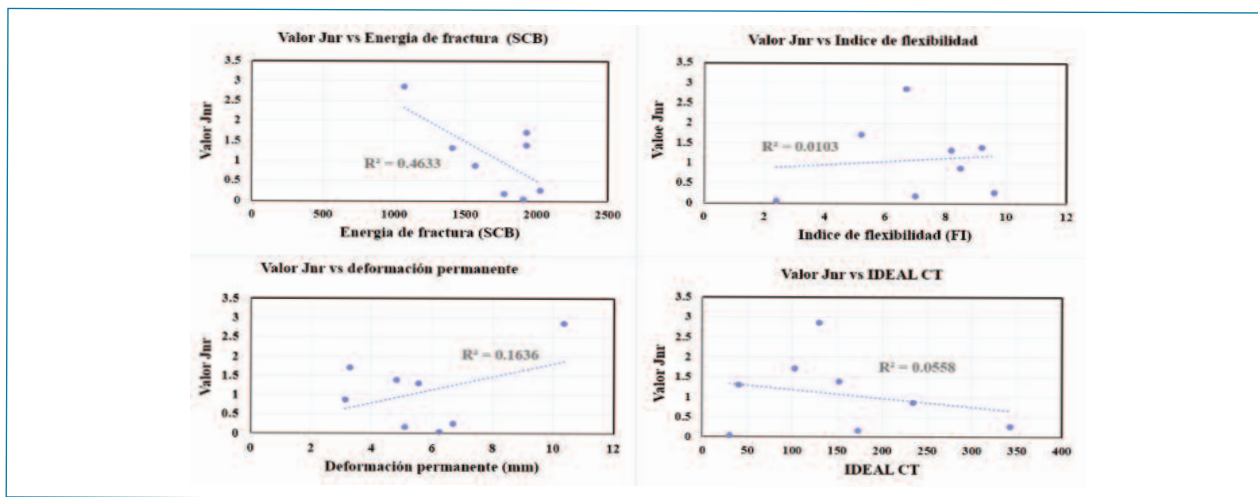


Figura 17. correlaciones valor Jnr vs ensayos de desempeño

## 6.3 correlaciones Respuesta elástica (%RE) vs ensayos de desempeño mecánico

Como se observa en la figura 17, el modelo lineal

nor en el asfalto respecto al óptimo (7.0%) no muestra un incremento considerable.

2. No todos los asfaltos cumplen con el valor mínimo de índice de flexibilidad al porcentaje óptimo de as-

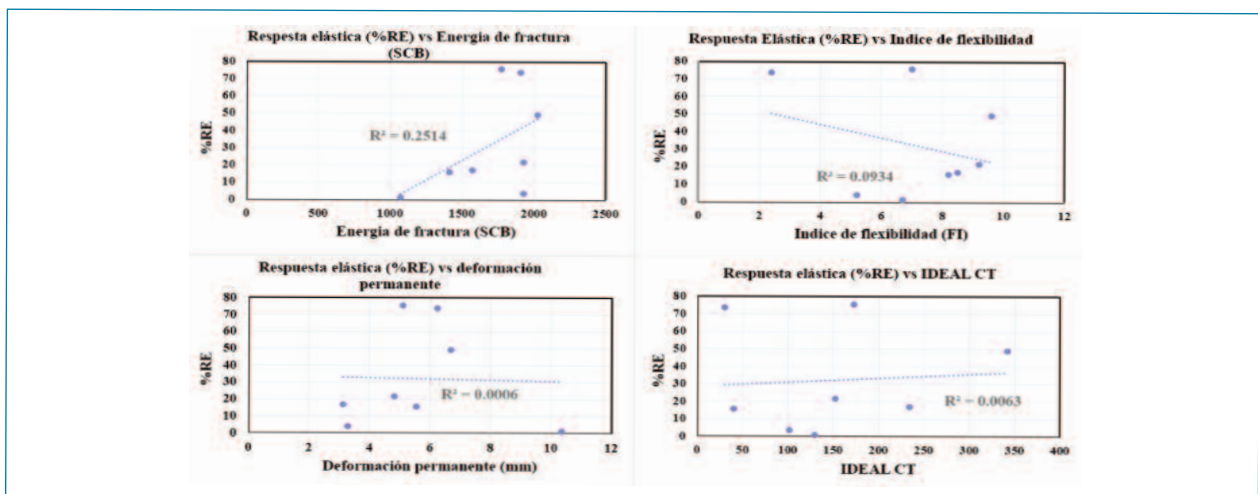


Figura 18. Correlaciones respuesta elástica (%RE) vs ensayos de desempeño

falto (7.0%) únicamente 3 cumplen, mostrando así que en cuestión de agrietamiento algunos asfaltos modificados son más efectivos que otros, sin embargo, cuando a las mezclas asfálticas se les dosifica un porcentaje mayor al óptimo de asfalto su valor de índice incrementa.

3. La deformación en rueda cargada de Hamburgo de las mezclas asfálticas analizadas a los diferentes contenidos de cemento asfáltico muestra un comportamiento similar a excepción del asfalto PG 64-22 el cual tuvo la deformación más crítica. Observando que cuando hay un incremento de cemento asfáltico en las mezclas su deformación aumenta.

4. En los resultados obtenidos la mayoría de los asfaltos analizados cumplen con el valor mínimo de IDEAL CT al óptimo de asfalto (7.0%) siendo 6 de los 8 analizados, esto muestra que en comparativa con el SCB en índice de flexibilidad este método de IDEAL CT es más tolerante en cuestión de rangos mínimos de agrietamiento.

5. En los 3 casos de diseño balanceado se observa un cambio en el incremento del índice de flexibilidad, únicamente los asfaltos que no cumplen con el mínimo de índice (8) son el PPA (2) y el asfalto oxidado, por otra parte, en deformación permanente en único que no cumple es el PG 64 – 22 al 7.5%

6. En el caso del diseño balanceado ideal CT vs rodadura los únicos asfaltos que no cumplen con el valor propuesto de ideal CT (70) es el PPA (1) y PPA (2), cabe mencionar que a los asfaltos mejor le fueron son los modificados con SBS + PPA.

7. La prueba de recuperación elástica por torsión fue la que obtuvo los resultados favorables con el parámetro de índice de flexibilidad y con el ensayo de agrietamiento de IDEAL CT el más alto ya que el valor de R2 es mayor a 0.6.

8. Aunque el valor de Jnr es un ensayo que no se correlaciona con la deformación en la rodadura en los asfaltos analizados se obtuvo un resultado favorable en el ensayo de SCB siendo este de R2 mayor a 0.5.

9. La prueba de recuperación elástica por torsión es la que se recomienda para en futuras investigaciones ser comparada con los diferentes ensayos de agrietamiento o de deformación permanente que existen para su estudio.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sandoval Navarro, I. & Cremades Ibáñez, I. (2013), "Evolución del grado PG en la caracterización de Asfalto", Publicado en 8vo Congreso Mexicano del Asfalto, México.
- [2] Ayala Y. (2021) Comportamiento mecánico de materiales asfálticos a deformación permanente, Chihuahua, México.
- [3] Paredes L., Reyes J., & Camacho F. (2013) Comportamiento de mezclas asfálticas densas a partir del ensayo de viga semicircular simplemente apoyada. Bogotá, Colombia.
- [4] Al-Qadi, I. L., Ozer, H., Lambros, J., El Khatib, A., Singhvi, P., Khan, T., . . . Doll, B. (2015, Diciembre 15). IDEALS. Illinois Digital Environment for Access to Learning and Scholarship
- [5] Illinois Center for Transportation. (2017). Illinois Center for Transportation: <https://apps.ict.illinois.edu/software/>
- [6] Ochoa Ambriz, L. A. (2019). Influencia de la compactación en el desempeño mecánico de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con pavimento asfáltico recuperado (RAP). Tesis de maestría (Primera ed.). Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- [7] Zhou, F. (2019, enero). Development of an IDEAL Cracking Test for Asphalt Mix Design, Quality Control and Quality Assurance. NCHRP IDEA Program, 1–40.