



IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO I-DEAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA A NIVEL LABORATORIO Y CAMPO EN EL TRAMO SAN LUIS POTOSÍ-MATEHUALA

Jesús Ramón Elías Hermosillo, Juan Adrián Ramírez Escobar, Víctor Hugo Blancas Herrera

¹ Mega Asfaltos S.A. de C.V., Salamanca, México, laboratorio.jesuselias23@gmail.com

² Mega Asfaltos S.A. de C.V., Salamanca, México, adrian_181294@hotmail.com

³ Mega Asfaltos S.A. de C.V., Salamanca, México, MGA.mezclas@gmail.com

Resumen

Uno de los problemas más frecuentes que aparecen en las carreteras de México, es el agrietamiento de sus capas asfálticas debido a la aplicación repetida de las cargas del tráfico (falla por fatiga) y a las tensiones térmicas por bajas temperaturas. Actualmente en otros países como Estados Unidos y España, se han desarrollado nuevos ensayos para la evaluación del agrietamiento en las mezclas asfálticas, a causa de los deterioros observados en las carpetas asfálticas y cuyo principal objetivo es mitigar dichos problemas desde la etapa de diseño. En este artículo, se presenta la implementación del ensayo I-DEAL para la evaluación de la resistencia al agrietamiento en especímenes elaborados en laboratorio y extraídos de campo. El estudio presenta una etapa de diseño de la mezcla asfáltica hasta un nivel II de Protocolo AMAAC, una etapa de extracción y evaluación de especímenes de campo, una vez puesta la mezcla asfáltica en el tramo carretero San Luis Potosí-Matehuala y finalmente, un análisis de la resistencia al agrietamiento mediante el ensayo IDEAL CT en especímenes de diseño y de campo. En la etapa de diseño, se realizó la caracterización de los materiales pétreos de origen calizo del banco “Cerritos” y de un asfalto modificado con polímero PG 76V-22. La prueba de IDEAL CT mostró valores parecidos de CTindex en los núcleos extraídos en campo, comparados con los valores obtenidos en laboratorio durante el periodo de diseño. IDEAL CT presenta grandes ventajas para ser considerado un ensayo de control de calidad en campo de mezclas asfálticas, al ser una prueba que no requiere cortes, pegado de pines o sensores especiales en los especímenes de prueba, además de brindar un ahorro considerable de tiempo en la ejecución e interpretación de resultados.

Palabras Clave: Agrietamiento, mezclas densas, IDEAL CT.

Introducción

Una de las fallas más frecuentes y características de las capas asfálticas es la fisuración térmica y el agrietamiento por fatiga. Esta fisuración es debida principalmente a la acumulación de daño debido a la repetición de cargas de tráfico, y a las tensiones térmicas que aparecen en las mezclas a bajas temperaturas. Ahora bien, la respuesta de las mezclas asfálticas ante estos deterioros suele variar en función de la tipología de la mezcla y del tipo y contenido del ligante asfáltico empleado en su fabricación. ^[1]



Los principales agentes solicitantes de los pavimentos son las cargas generadas por el tránsito y las condiciones ambientales a las que está expuesto el pavimento durante su vida útil. El tránsito solicitante es un factor de primera importancia a la hora de determinar o predecir el daño en el tiempo que sufrirá un pavimento en un periodo dado. Sin embargo, la caracterización de las solicitaciones producidas por el tránsito sobre los pavimentos es bastante compleja, debido no solo a la variabilidad y periodicidad de los vehículos que lo solicitan, sino también a las interacciones vehículo-pavimento y velocidades de circulación que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas de los vehículos. ^{[1][2]}

Un ejemplo de las deformaciones producidas en la base de la estructura de un pavimento asfáltico producto de las cargas del tránsito. Por otra parte, las solicitaciones medioambientales tienen también una gran influencia en el comportamiento mecánico del pavimento. Básicamente, dos son los efectos que afectan las características del pavimento, la temperatura y la humedad.

La temperatura influye de manera directa en la rigidez del pavimento, ya que a medida que aumenta la temperatura, la capa superior del pavimento se vuelve menos rígida y cuando disminuye se incrementa la rigidez de esta capa. A su vez, la temperatura también afecta a los estados tensionales del pavimento, puesto que cuando bajan las temperaturas se generan altas tensiones superficiales de retracción en la superficie del pavimento. Por otro lado, se encuentra la humedad, la cual tiene una gran influencia en la adhesividad entre los materiales componentes de las capas asfálticas, junto con ser el origen de los posibles fallos en la estructura de pavimento producto de la filtración de agua en sus capas inferiores. ^{[1][2]}

Las mezclas asfálticas densas de alto desempeño son una mezcla fabricada en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre (37,5) milímetros (1½ in) y (9,5) milímetros (¾ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D. de la Norma N·CMT·4·04/17[3], *Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*. Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una capacidad estructural, la cual esté en función del nivel de tránsito. ^[3]

Uno de los ensayos que nos permiten considerar la implementación de una prueba de agrietamiento para mezclas asfálticas, tanto en precisión como a las implicaciones prácticas del costo del equipo y la facilidad de uso es el ensayo IDEAL-CT, el cual está estipulado su procedimiento en la norma ASTM D8225^[7] *Standard Test Method for Determination of Cracking Tolerance Index of Asphalt Mixture Using the Indirect Tensile Cracking Test at Intermediate Temperature*¹ y cuyo objetivo principal es determinar el índice de tolerancia al agrietamiento (CT_{index}) empleando muestras cilíndricas de mezcla asfáltica preparadas en laboratorio o núcleos de pavimento, sometidas a tensión indirecta y generando a su vez la curva de carga-desplazamiento.

El ensayo de IDEAL CT, fue desarrollado en la década de 1990 como parte de los programas denominados Innovations Deserving Exploratory Analysis (IDEA) administrados por el TRB (Transportation Research Board) norteamericano, donde se generó el NCHRP IDEA Project 195 “Development of an IDEAL Cracking Test for Asphalt Mix Design, Quality Control and Quality”, que culminó con el desarrollo del procedimiento IDEAL-CT. ^[8] Tal prueba, ha tenido buena aceptación, por lo económico, la facilidad de ejecución y la buena correlación con el agrietamiento de los tramos carreteros o pistas de prueba en estados unidos.

Con el objeto de conocer el comportamiento de las mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño y adaptar su respuesta y comportamiento a las condiciones climatológicas y de tráfico en México; en la presente investigación se evaluó el desempeño de la mezcla asfáltica hasta un nivel



II de Protocolo AMAAC PA-MA-01/2013³ desde su proceso de diseño y hasta el control de calidad en campo con la extracción de núcleos de carpeta asfáltica en el tramo San Luis Potosí-Matehuala; así como, la evaluación de la resistencia al agrietamiento, empleando el ensayo IDEAL CT.

Metodología y Resultados

En la presente investigación, se desarrolló el diseño de una mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño, bajo la metodología recomendada por Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013 “Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño” a un Nivel II de diseño, designado para tránsito de medio a alto (0,3 a 30 millones de ejes equivalentes) y para carreteras estatales y federales. Se inició con la caracterización de los materiales pétreos y el cemento asfáltico, posteriormente se realizaron especímenes cilíndricos de 115 ± 5 mm de altura para la evaluación volumétrica y obtención del contenido óptimo de asfalto y, por último, se desarrollaron los ensayos para la evaluación de desempeño: susceptibilidad a la humedad (TSR), susceptibilidad a la deformación permanente y resistencia al agrietamiento (IDEAL CT).

Los materiales pétreos empleados para realizar el presente estudio fueron muestreados del banco “Tricesa Cerritos” localizado en el estado de San Luis Potosí, México; mientras que, el asfalto proporcionado para la elaboración de la mezcla asfáltica, fue procedente de una planta de asfalto ubicada en Salamanca, Guanajuato, México.

En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos de la caracterización de los agregados pétreos empleados para el diseño de la mezcla asfáltica.

Tabla 1. Características de los agregados pétreos utilizados en la mezcla de diseño

Característica	Norma	Grava 3/4"	Grava 1/2"	Sello 3/8"	Arena triturada	Especifica ción
Desgaste de los Ángeles, %	ASTM C131	20	21	17	Na	30 máx.
Desgaste Micro Deval, %	ASTM D6928	11	12	11	Na	15 máx.
Caras fracturadas, %	ASTM D5821	100	100	100	Na	90 min.
Partículas planas y alargadas, %	ASTM D4791	0	0	0	Na	5 a 1, 10% máx..
Adherencia con el asfalto, %	AMAAC RA08	90	91	90	Na	90 min.
Densidad relativa del material	ASTM C128	2.668	2.662	2.658	2.581	2.4 min.
Equivalente de arena, %	ASTM D2419	Na	Na	Na	73	55 min.
Angularidad, %	AASHTO T304	Na	Na	Na	45	40 min.
Azul de metileno, mg/g	AMAAC RA05	Na	Na	Na	3	12 máx..

Una vez obtenidas las características de los agregados pétreos, se efectuó la combinación teórica de los materiales, la cual cumplió con los requisitos granulométricos indicados en el manual AMAAC PA-MA-01/2013³ y expuestos en la Tabla 2 de este apartado. La granulometría de diseño o granulometría de referencia utilizada para este proyecto se presenta en la Figura 1 y está conformada



por cuatro materiales: grava madre de 3/4" en un 10% de participación respecto a la masa del esqueleto mineral, grava de 1/2" en un 20%, sello de 3/8" en un 20% y arena triturada en un 50%.

Tabla 2. Puntos de control granulométricos de la mezcla diseñada

Malla	Puntos de control de acuerdo con su tamaño nominal	Valor obtenido
Abertura (mm)	19 (3/4")	
25	100 - 100	100
19	90 - 100	96.6
12.5	-90	77.4
9.5		66.7
4.75		43.8
2.36	23 - 49	30
1.18		19.6
0.600		13.7
0.300		10.1
0.150		7.4
0.075	2 - 8	5.1

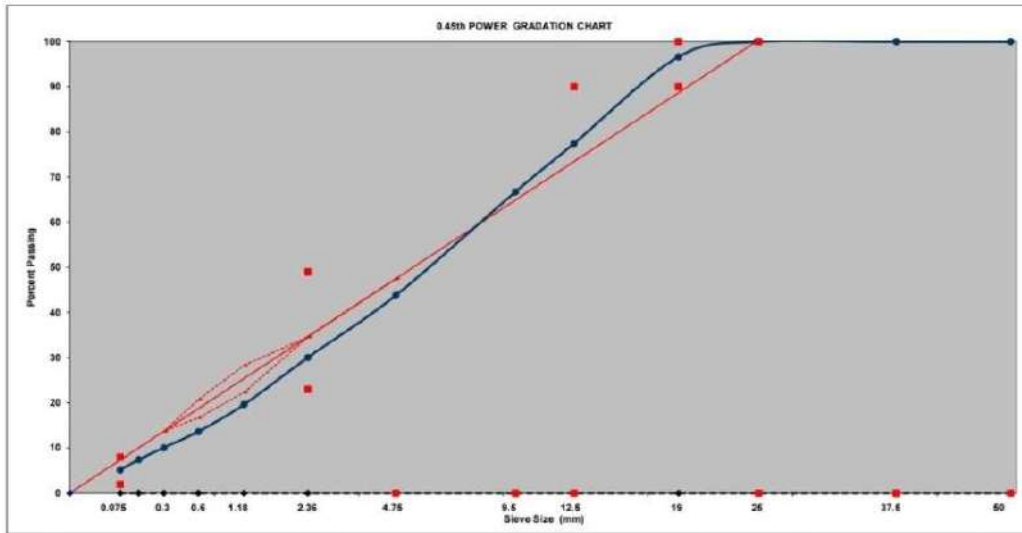


Figura 1. Granulometría de diseño para un tamaño nominal de 3/4"

Para este diseño en particular se utilizó un asfalto modificado con polímero tipo SBS, clasificado de acuerdo con la normativa N.CMT.4.05.004/18, *Calidad de cementos asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)* como PG 76V-22. Las características del ligante asfáltico, fueron obtenidas bajo las metodologías descritas por normativa vigente de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, y cuyos valores se presentan en la Tabla 3.



Tabla 3. Características de calidad del ligante asfáltico PG 76V-22.

Característica	Valor	Especificación	Norma
Características del asfalto original			
Punto de inflamación Cleveland °C, min.	278	230 min.	ASTM D8254-19
Viscosidad rotacional 135°C, Pa's, máx.	1.572	3 máx..	ASTM D4402-15 (2022)
Punto de reblandecimiento, °C, min.	65	55 min.	ASTM D36-14 (2020).
Separación, diferencia anillo y esfera, °C, máx.	0	2 máx..	M.MMP.4.05.022/02.
Recuperación elástica por torsión 25°C, % min.	56	35 min.	M.MMP.4.05.024/02.
Módulo reológico de Corte Dinámico a 76 °C (G*/sen δ), Kpa, min.	1.6394	1 min.	ASTM D7175-15
Características después de horno de envejecimiento RTFO			
Pérdida de masa por calentamiento, % máx.	0.936	1 máx..	ASTM D2872-22
Recuperación elástica en ductilometro, 25°C, % min.	80	75 min.	ASTM D6084-21
Trafico muy alto "V", Nivel de ajuste (MSCR) Jnr a 3,2 kpa en MSCR, kPa-1, máx.	0,253	1 máx..	ASTM D7405-20
Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR, % min.	76.51	30 min.	ASTM D7405-20
Características después de horno de presión PAV			
Rigidización (G*/sen δ), Kpa, máx. Temp. de prueba @ 10 rad/s, °C.	1138.4	5000 máx.	ASTM D7175-18
Rigidez de Flexión S(t), máximo 300 MPa	83.873	300 máx.	ASTM D6648-08
Valor m, mínimo 0,300 Temperatura de prueba @60 s, °C	0.315	0.300 min.	ASTM D6648-08

Para la obtención del contenido de asfalto óptimo, se realizaron 6 especímenes de 115 ± 5 mm de altura y 150 mm de diámetro compactados a 100 giros de diseño, utilizando el asfalto modificado PG 76V-22, a una temperatura de mezclado de 175 °C y una temperatura de compactación de 165 °C. Por cada uno de los especímenes elaborados, se obtuvieron valores de gravedad específica bruta (Gmb) y de gravedad específica teórica máxima (Gmm), para finalmente determinar el porcentaje de asfalto óptimo respecto a la masa de la mezcla asfáltica.

La mezcla fue compactada y diseñada al 4% de vacíos, con un contenido óptimo de asfalto del 4.0%, cumpliendo con sus propiedades volumétricas especificadas para mezclas asfálticas de granulometría densa. Se realizaron especímenes de prueba para definir la masa necesaria para alcanzar el 7 ± 0.5 % de vacíos para el ensayo de resistencia a la deformación permanente mediante la Rueda Cargada de Hamburgo (HWT), el 7 ± 1 % de vacíos para el ensayo de susceptibilidad a la humedad por medio de la relación a la resistencia a la tensión indirecta (TSR) y el 7 ± 0.5 % de vacíos para el ensayo de resistencia al agrietamiento (IDEAL CT).

En el caso de la resistencia a la deformación permanente se ensayaron doce especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro por 60 mm de altura, clasificados en tres grupos diferentes, como se muestra a continuación:



- Grupo I: 4 especímenes elaborados en laboratorio para la validación del diseño de la mezcla asfáltica.
- Grupo II: 4 especímenes elaborados en laboratorio con mezcla asfáltica proveniente del tramo carretero San Luis Potosí-Matehuala.
- Grupo III: 4 núcleos extraídos de forma aleatoria del tramo carretero San Luis Potosí-Matehuala.

La evaluación de la deformación permanente, consistió en colocar los cuatros especímenes de prueba (dos por rueda) en el equipo de la Rueda Cargada de Hamburgo (HWT), previo a ser cortados para su adecuado montaje y transcurridas 48 horas después de su fabricación. Una vez colocados los especímenes en la tina del equipo, se acondicionaron por 30 minutos a una temperatura de 50 °C y se hizo pasar 20,000 veces una rueda de 71.6 ± 0.45 kilogramos sobre la superficie de los especímenes. La deformación permanente permitida por Protocolo AMAAC es de 10.0 mm como máximo.

Para la obtención de la susceptibilidad al daño inducido por humedad (TSR), se consideraron los mismos tres grupos de estudio, con 6 especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro y 95 mm de altura por cada uno de los grupos. La prueba consiste en acondicionar 3 de los 6 especímenes a un proceso de saturación entre el 70% y 80%, un congelamiento a -18 °C durante 15 horas, un proceso de inmersión en agua a temperatura de 60 °C por 24 horas y un pre acondicionamiento de los especímenes de 2 horas a temperatura de 25 °C antes de llevarlos a la ruptura por tensión indirecta; mientras que los otros 3 especímenes son solamente llevados a un pre acondicionamiento de 2 horas a temperatura de 25 °C para conocer su resistencia a la tensión indirecta. El valor mínimo recomendado para TSR, de acuerdo con la metodología de diseño descrita, es de 80%.

Una vez realizadas las pruebas correspondientes para el cumplimiento del nivel II de Protocolo AMAAC, se elaboraron en laboratorio once especímenes de 150 mm de diámetro por 62 mm de altura, para la obtención de la resistencia al agrietamiento (prueba IDEAL CT), los cuales fueron fabricados con su contenido óptimo, mezclados y compactados de acuerdo con las temperaturas correspondientes y con un 7 ± 0.5 % de vacíos. También, se efectuaron de manera aleatoria 15 extracciones en la carpeta asfáltica correspondientes al tramo San Luis Potosí-Matehuala, obteniendo núcleos de 150 mm de diámetro y de altura variable, con la finalidad de correlacionar los resultados obtenidos en diseño contra los resultados de campo.

El ensayo IDEAL CT fue desarrollado bajo lo descrito en la norma ASTM D8225 y aplicado dos días después de la fabricación de los especímenes. Una vez cumplido este tiempo, los especímenes se acondicionaron por $2h \pm 10$ minutos en un baño de agua (a temperatura de 25 ± 1 °C), se colocaron en la mordaza Lottman y se sometieron a una carga con velocidad de 50 ± 2 mm/min a tensión indirecta. El ensayo adquiere datos correspondientes a carga y desplazamiento, la cual permite generar una curva carga-desplazamiento y así poder obtener los valores de energía de fractura del material analizado y el índice de tolerancia al agrietamiento (CTindex).

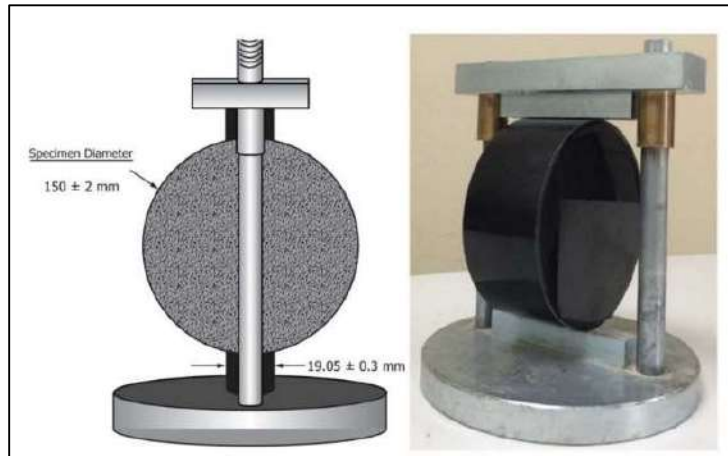


Figura 2. Ensayo de tensión indirecta.

La curva típica obtenida de carga-desplazamiento de un espécimen de ensayo, es desarrollada como se muestra en la Figura 3, procediendo a determinar el trabajo de fractura (W_f), calculando el área bajo la curva, integrando la ecuación que genera dicha curva. Una vez obtenido el trabajo de fractura, se procede a determinar la energía de fractura (G_f) mediante la siguiente ecuación:

$$G_f = \frac{W_f}{Dxt} \times 10^6 \quad (1)$$

Donde W_f es el trabajo de fractura en Joules, D es el diámetro del espécimen en mm y t es el espesor del espécimen en mm.

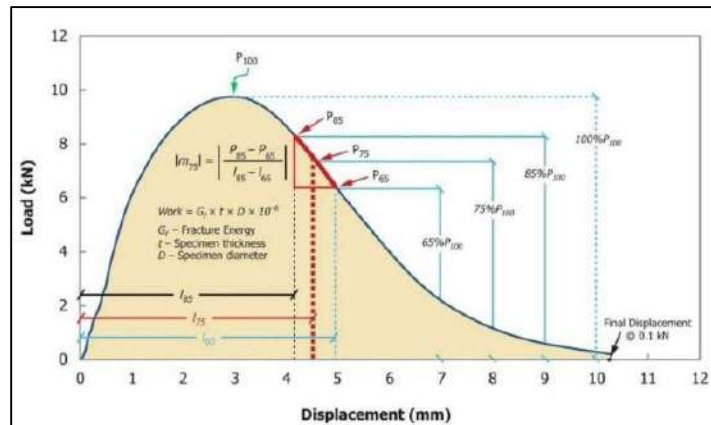


Figura 3. Curva, Carga - Desplazamiento

Además, se pueden obtener otros datos necesarios para estimar el índice de tolerancia de la prueba IDEAL CT, los cuales son las cargas y desplazamientos Post-pico al 65%, 75% y 85% de la carga máxima (P_{max}). Con tales datos se puede obtener la pendiente en valor absoluto de la zona tangencial al 75% de la carga máxima posterior del pico, con la siguiente ecuación:



$$|m_{75}| = \left| \frac{P_{85} - P_{65}}{l_{85} - l_{65}} \right| \quad (2)$$

Por último, se procede a calcular el índice de tolerancia al agrietamiento CTindex por medio de la siguiente ecuación. El Instituto de Transportes de Texas (TTI) de EE. UU. recomienda un valor mínimo de CTindex de 50 o 70 dependiendo el sitio y especificación de proyecto.

$$CTindex = \frac{t}{62} \times \frac{l_{75}}{D} \times \frac{G_f}{|m_{75}|} \times 10^6 \quad (3)$$

Donde $t/62$ es un factor de corrección para el espesor de la muestra.

Resultados y análisis de las pruebas realizadas

Los resultados obtenidos de la metodología de diseño, en el caso de estudio, arrojaron el cumplimiento de la mezcla asfáltica hasta un Nivel II de Protocolo AMAAC y cuyos valores se encuentran en la Tabla 4 de este apartado.

A partir del cumplimiento de desempeño de la mezcla asfáltica requerida para el proyecto, se realizaron los trabajos de elaboración, tendido y compactación de la mezcla asfáltica en el tramo San Luis Potosí-Matehuala y se obtuvieron muestras de mezcla suelta y de núcleos extraídos de la capa de rodadura para el análisis de desempeño correspondiente. Los valores de la calidad de la mezcla asfáltica obtenida en campo, se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Características volumétricas y de desempeño de las mezclas evaluadas

Mezcla		Propiedades Volumétricas					Desempeño	
Grupo	Origen	Va (%)	VAM (%)	VFA (%)	Gmb	Gmm	TSR (%)	HWT (mm)
I	Diseño	4.0	11.0	65.0	2.433	2.531	91	3.86
II	Planta	3.6	11.5	66.0	2.443	2.535	87	3.67
III	Núcleos	NA	NA	NA	2.358	2.535	95	6.14

Como se observa en la Tabla 4, los resultados de susceptibilidad a la humedad y deformación permanente en los tres grupos evaluados, tanto de los especímenes de laboratorio como de campo cumplen con las especificaciones marcadas por Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³; teniendo un mejor comportamiento la mezcla de diseño del grupo I, cuyas características son controladas totalmente en laboratorio y considerando que las otras mezclas son elaboradas en el sitio.

De los grupos I y III de la Tabla 4, referente a la mezcla de diseño y a nivel de campo (núcleos) se sometieron especímenes al ensayo IDEAL CT, el cual al someter cada uno de los especímenes de prueba a una carga a compresión diametral, se genera una curva carga-desplazamiento como se observa en la Figura 4.

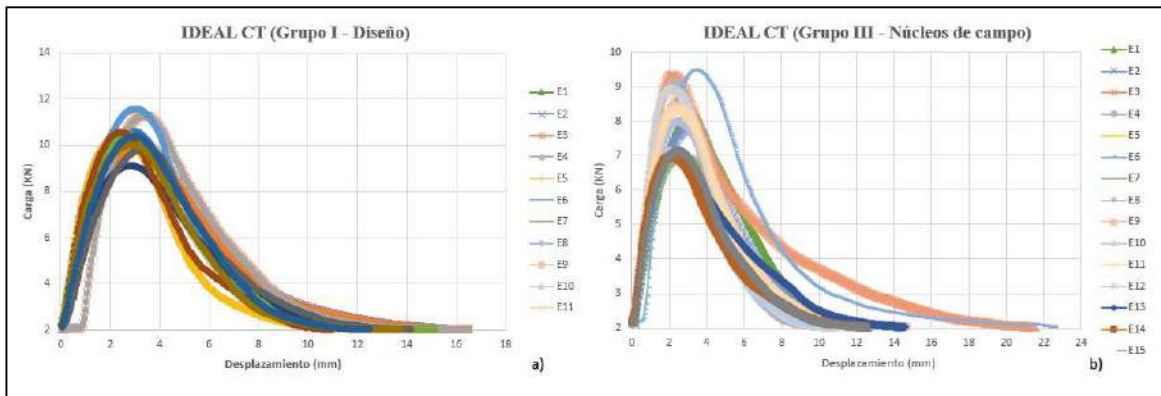


Figura 4. Curvas carga vs desplazamiento, especímenes de diseño y núcleos de campo

En la Figura 4.a), se muestran las curvas generadas por cada espécimen en el diseño de la mezcla asfáltica, con un total de 11 curvas y cuyo comportamiento es muy similar entre ellas, con valores de energía de fractura entre 6400 J/m^2 y 8700 J/m^2 , con un promedio de 7520 J/m^2 y un valor promedio de índice de tolerancia al agrietamiento (CTindex) de 120 unidades.

Los valores de energía de fractura, en el caso de los especímenes del grupo III – núcleos de campo, se posicionaron entre 6200 J/m^2 y 11200 J/m^2 , con un promedio de 7648 J/m^2 ; siendo así apreciable en la Figura 4.b) una mayor variación en el comportamiento bajo la curva de los núcleos de campo. El valor promedio de CTindex para la muestra de campo fue de 128 unidades.

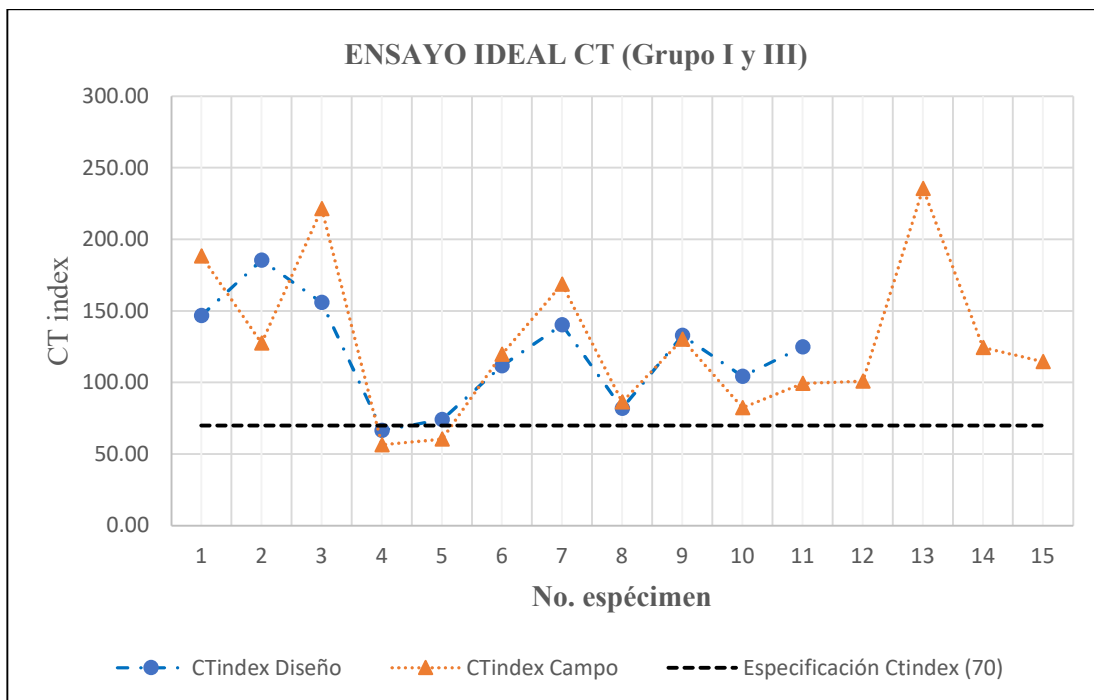


Figura 5. CTindex de especímenes de diseño y núcleos de carpeta asfáltica

Al evaluar el cumplimiento de la resistencia al agrietamiento para ambos grupos de mezcla, de acuerdo con lo recomendado por el Instituto de Transporte de Texas (TTI) de EE. UU., los valores promedio de CTindex para ambas muestras cumplen con el valor mínimo de 50 o 70, dependiendo el sitio y especificación de proyecto. Si observamos la Figura 5, de acuerdo con el valor obtenido de CTindex para cada espécimen o núcleo ensayado, puntos azules o puntos naranjas respectivamente, existe una mayor variación en los especímenes extraídos de campo y esto pudiera ser atribuido a los vacíos no controlados de la carpeta asfáltica, los cuales muchos de ellos se encuentran fuera del $7 \pm 0.5\%$; reflejado al obtener valores de carga pico menores (Figura 4.b) respecto a los obtenidos en los especímenes de diseño.

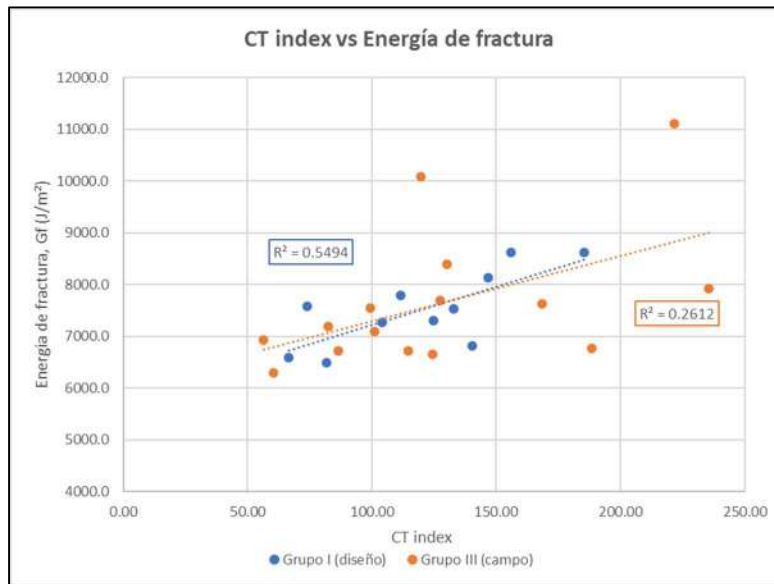


Figura 6. Correlación CTindex vs energía de fractura

En la Figura 6 se muestra la correlación entre el valor de CTindex y la energía de fractura (Gf) obtenidos de los especímenes de diseño y de campo, obteniendo valores de R^2 igual a 0.5494 y de R^2 igual a 0.2612 respectivamente; teniendo los especímenes de campo una mayor dispersión debido a las variaciones en su contenido de vacíos y dimensiones geométricas, de acuerdo con lo establecido por la normativa. Sin embargo, considerando que los especímenes de diseño representan una proyección de lo que sucederá en la carpeta asfáltica, el comportamiento de los núcleos analizados es muy similar a lo obtenido en laboratorio como lo observamos en el valor obtenido de CTindex para ambos grupos de mezcla.

Conclusiones

1. El ensayo de IDEAL CT, es una buena alternativa para implementarse en el control de calidad de campo, debido a su practicidad, bajo costo, y a su alta similitud de los valores obtenidos en diseño contra los valores obtenidos de los núcleos extraídos en campo.
2. El ensayo I-DEAL CT, permitió observar que las cargas más altas o con mayor pico en las curvas Carga - Desplazamiento, las presentaron los especímenes de diseño, elaborados de manera controlada en laboratorio, siendo esto un indicativo de que la mezcla en campo



presenta menor rigidez debido a la variación que existe en sus vacíos de aire, los cuales no es posible controlarlos de manera total durante el proceso constructivo de la carpeta asfáltica.

3. Los valores de energía de fractura obtenidos tanto de las muestras fabricadas en laboratorio, como de las extraídas en campo presentan valores promedio por encima de los 7000 J/m², valor aceptable característico en mezclas asfálticas en caliente según la literatura.
4. Los valores obtenidos de índice de tolerancia al agrietamiento (CTindex) para los especímenes de diseño y de campo, cumplieron con la recomendación establecida por el Instituto de Transporte de Texas (ITT), obteniendo una mezcla asfáltica resistente y tenaz al agrietamiento en el tramo San Luis Potosí-Matehuala.
5. El aseguramiento de la calidad respecto a la resistencia al agrietamiento en la mezcla asfáltica colocada en el tramo San Luis Potosí-Matehuala, tendrá que seguir siendo monitoreada para validar el cumplimiento a largo plazo de los valores implementados en proyectos carreteros de EE. UU., específicamente para el ensayo de IDEAL CT; así como de cualquier otra mezcla asfáltica aplicada en México.

Referencias

- [1] Juan José Potti, Ramon Botella, y Félix Edmundo Pérez, *Comunicación 10, Resistencia a la fisuración de las mezclas SMA*.
- [2] Valdés Gil, Pérez Jiménez y Calabi Floody, *La fisuración en pavimentos asfálticos y sus mecanismos de deterioro, Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Departamento de Infraestructura del Transporte, Universidad Politécnica de Cataluña, España*.
- [3] N.CMT.4.04/17, *Calidad de materiales pétreos para mezclas asfálticas, 2017, Normativa para la infraestructura del transporte*.
- [4] N.CMT.4.05.004/18, *Calidad de cementos asfálticos según su grado de desempeño PG, 2018, Normativa para la infraestructura del transporte*.
- [5] Dr. Horacio Delgado Alamilla, *Publicación técnica N°62, PT602, Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente en función de su nivel de tránsito, san Fandila Querétaro, 2020*.
- [6] D.R. Asociación Mexicana del Asfalto A.C., Protocolo Amaac PA.MA.01/2013³, *Diseño de mezclas de granulometría densa de alto desempeño*.
- [7] ASTM D8225-19, *Standard test method for determination of cracking tolerance Index of asphalt mixture using the indirect tensile cracking test at intermediate temperature, United States 2019*.
- [8] Navarrete Sánchez, E. F. (2021). *Empleo de la prueba "ideal" para el control del agrietamiento en mezclas asfálticas*. Guayaquil, Ecuador. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.