



BOLETÍN TÉCNICO LanammeUCR

Volumen 1, N.º 1
Enero, 2024

Clasificación del ligante asfáltico por Grado de Desempeño (PG)

Ellen Rodríguez Castro

✉ ellen.rodriguez@ucr.ac.cr

Jefe del Laboratorio de Materiales para Pavimentos
Área de Transportes y Pavimentos

Cindy Zúñiga Araya

✉ cindy.zuniga@ucr.ac.cr

Técnica especializada del Laboratorio de Materiales para Pavimentos
Área de Transportes y Pavimentos



Introducción

Hace 30 años el Programa Estratégico de Investigación en Carreteras (SHRP, por sus siglas en inglés) plantea una nueva metodología de diseño de mezcla asfáltica llamada SUPERPAVE® que propuso nuevas especificaciones para los materiales y para la mezcla. (1).

Esta nueva clasificación cambia la forma en que se diseña y se seleccionan los materiales, pues el primer paso es determinar qué necesita el proyecto y posteriormente seleccionar cada material y diseñar en función de lo determinado. El objetivo es analizar el desempeño de los materiales individualmente y como un conjunto y no tanto las características físicas de los materiales. En este momento se tienen dos formas dentro de este tipo de clasificación la clásica y la más actual que introdujo el ensayo de MSCR.



Primer Paso: El proyecto

La selección de los materiales y de las combinaciones de estos en el diseño de la mezcla se hace por etapas.

La primera etapa es definir qué tipo de ligante asfáltico necesita el proyecto, contemplando la temperatura ambiental, la carga y el tipo de tránsito.



a. Condiciones ambientales

Se empieza por ubicar geográficamente el proyecto para definir el rango de temperatura probable en el proyecto.

Como lo importante es relacionar la temperatura de la clasificación con la temperatura ambiental, el LanammeUCR desde el año 2013 desarrolló un mapa de zonificación climática (2) que define zonas de acuerdo con modelos que se basan en la ubicación geográfica, la temperatura ambiental y la temperatura superficial. Con esto se determina la temperatura superior y la temperatura inferior de la clasificación por grado de desempeño PG.

Temperaturas del PG

Las temperaturas de la clasificación por PG se establecen en una escala cada 6 °C como se verá en detalle posteriormente.

Para la temperatura superior se dispone del mapa de la Figura 1.

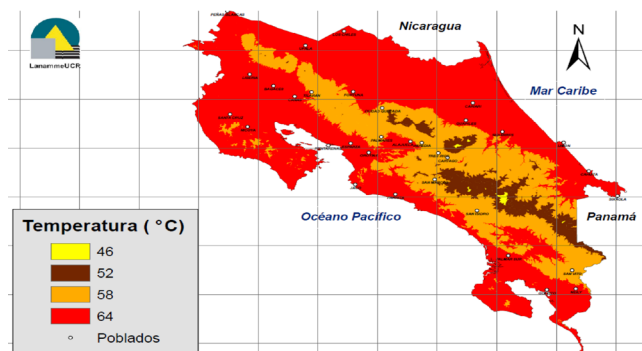


Figura 1. Zonificación de PG-Temperatura superior (2)

Para la temperatura inferior también se desarrolló un mapa (Ver Figura 2).

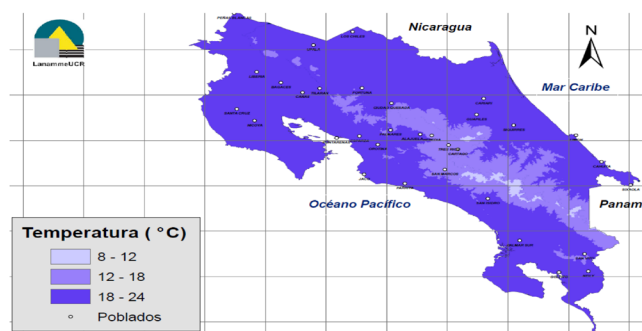


Figura 2. Zonificación de PG-Temperatura inferior. (2)

Como la clasificación se desarrolló para países con temperaturas extremas, las temperaturas de Costa Rica no están dentro de las opciones de la especificación, por lo que el dueño del proyecto debe decidir este valor.

Este documento se desarrolla con base en el procedimiento establecido por la SHRP, sin embargo, se debe recalcar que para Costa Rica es más importante la temperatura intermedia.

b. Carga de tránsito

Los mapas responden solo a las condiciones ambientales pero dentro de la clasificación también se considera uno de los parámetros de diseño de carreteras más importante: la carga de tránsito, la cual se determina con ejes equivalentes (ESAL's, por sus siglas en inglés).

La magnitud del efecto de la carga de tránsito sobre el desempeño se calcula solo para la temperatura superior y depende además de la velocidad, por lo que el impacto en el valor de la temperatura de desempeño se define valorando los parámetros de carga y velocidad en conjunto para tomar en cuenta el comportamiento viscoelástico del ligante asfáltico de manera implícita.

c. Velocidad y tipo de tránsito

La clasificación por PG transforma el efecto combinado de la carga y la velocidad según el aumento de la temperatura superior de desempeño. Cada aumento de un grado PG corresponde a un incremento de 6 °C.

El efecto de una carga de tránsito baja entre 0,3 y 3,0 ESAL's a una velocidad alta mayor de 70 km/h no incide en el efecto de la temperatura ambiental, por lo que no se tiene que cambiar la temperatura superior de desempeño, por el contrario, el efecto combinado de una carga mayor y velocidad baja se considera significativo por lo que se aumenta el valor de la temperatura superior de desempeño estimada por la zonificación en función de la magnitud de la carga y de la velocidad.

Ejemplo: Rotonda de Garantías Sociales ubicada en el distrito de Zapote del cantón de San José. De acuerdo con su ubicación la temperatura superior de desempeño es de 58 °C. Mientras que la temperatura inferior de desempeño estaría entre 8 °C y 12 °C. Se define un valor de -22 °C ya que esta temperatura es la que se utiliza en la mayoría de las clasificaciones.

Como se observa en la Tabla 1, para cualquier carga de tránsito con una velocidad baja se hacen dos aumentos, y para velocidades altas solo si la cantidad de ESAL's es mayor de 30 millones se aplica un aumento.

Ejemplo: Si en la Rotonda de Garantías Sociales se presentan ESAL's de 10 a 30 millones, con tránsito detenido en horas pico → temperatura superior de desempeño cambia en dos grados PG y queda en 70 °C.

El LanammeUCR también desarrolló una aplicación de "Grado de desempeño (PG) para la selección de asfalto" con el método clásico, la cual se puede acceder en: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/pg/>. Esta herramienta facilita la estimación de la temperatura superior de desempeño. Al introducir la información, la salida, entre otros datos, es la temperatura superior de desempeño (Ver Figura 3).

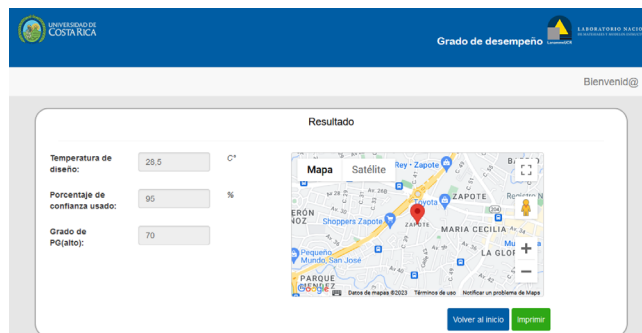


Figura 3. Salida de aplicación "Grado de Desempeño".

Por otra parte, el cálculo de la temperatura intermedia de desempeño no tiene un método como los anteriores, si no que el cálculo se realiza aplicando la siguiente ecuación:

$$T_{intermedia} = \frac{T_{superior} + T_{inferior}}{2} + 4 \quad (\text{Ec. 1})$$

Tabla 1. Efecto del tránsito en la definición del grado de desempeño del ligante asfáltico

ESAL's diseño (millones)	Saltos por velocidad			MSCR	
	Detenido (< 20*)	Baja (entre 20* y 70*)	Alta (> 70*)	Tránsito	ID
< 0,3	-	-	-		
0,3 a 3	2	1	-	Estándar	S
3 a 10	2	1	-	Pesado	H
10 a 30	2	1	-	Muy pesado	VH
>30	2	1	1	Extrem. pesado	E

A diferencia de la temperatura superior e inferior la temperatura intermedia hace aumentos cada 3 °C y lo que sugiere es que la especificación se cumpla como máximo a la temperatura que se calcula con la Ec 1.

Ejemplo: Para la Rotonda de Garantías Sociales

$$T_{intermedia} = \frac{58+(-22)}{2} + 4 = 22 \text{ °C} \quad (\text{Ec } 1)$$

ATENCIÓN

Las notas de la norma tienen información importante

Concepto MSCR

El concepto de los aumentos para la consideración de la carga cambia con la introducción del parámetro de fluencia y recuperación elástica a esfuerzos múltiples (MSCR, por sus siglas en inglés).

Esta es una de las opciones planteadas para evaluar ligantes asfálticos modificados y, como lo explica Awis Muhammad (2020) (3), tiene el fin de representar mejor el efecto del tránsito haciendo el ensayo a la temperatura del proyecto sin cambiar cómo se evalúa la temperatura superior en el reómetro.

En esta nueva clasificación la codificación mantiene la temperatura alta estimada para el proyecto, pero se incluyen la letra S, H, VH o E de acuerdo con el tránsito de ESAL's del proyecto como se observa en la Tabla 1.

Nota: Aún cuando se utilice la clasificación por grado de desempeño con MSCR se debe determinar la temperatura superior de manera usual.

Ejemplo: Rotonda de Garantías Sociales
ESALs de 10 a 30 millones, detenido en horas pico → 58 VH

Por lo que, el material se clasifica como:

Ejemplo: El ligante asfáltico requerido es:
PG clásico: 70-22
PG con MSCR: 58VH-22

Nota: El valor de la temperatura mínima no corresponde a la temperatura intermedia.

Segundo paso: El material

Una vez establecidas las condiciones del proyecto se evalúa el material disponible.






Para esto, el dueño del proyecto debe decidir si aplica la clasificación de PG clásica o PG con MSCR.

Se empieza con la clasificación PG, es decir se van a aplicar los aumentos de temperatura para evaluar el efecto del tránsito.

Clasificación PG

El primer paso es ingresar a la tabla de la INTE C378 (6) usando la información del proyecto. Un extracto correspondiente a una sola temperatura se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación PG del material según las condiciones del proyecto.

	Grado de desempeño	PG 70					
		10	16	22	28	34	40
Proyecto	T superior desempeño (°C)	<70 PG					
	T intermedia (°C)	34	31	28	25	22	19
	T inferior desempeño (°C)	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Ligante asfáltico	Ligante original						
	Punto de inflamación	Mínimo: 230 °C					
	Viscosidad a 135 °C	Máximo: 3 Pa·s					
	G*/sen(δ) a 70 °C 	Mínimo: 1 kPa a 10 rad/s					
	Residuo RTFO del ligante asfáltico						
	Cambio de masa-RTFO a 163 °C	Máximo: 1 %					
	G*/sen(δ) a 70 °C-PG 	Mínimo: 2,2 kPa a 10 rad/s					
	Residuo RTFO + PAV del ligante asfáltico						
	PAV 2,1 MPa 20 horas	100 °C					
	G*·sen(δ) a 22 °C-PG 	a. Máximo 6000 kPa a 10 rad/s b. Entre 5000 y 6000 kPa, δ 42° Mínimo					
	Rigidez a -22 °C 	Máximo: Rigidez (S) 300 MPa Mínimo: pendiente (m) 0,300					
Tensión directa a -22 °C 	Mínimo: 1,0 %						

Ejemplo: Para la Rotonda de Garantías Sociales se requiere un ligante asfáltico con temperaturas de 70 °C y -22 °C. Se busca la correspondencia de temperatura superior e inferior y el encabezado indica la clasificación PG 70-22.

Esta información es la que indica el valor que debe cumplir cada uno de los parámetros que se va a ensayar en el material y que, si cumple con todos los criterios, se espera que el desempeño del ligante asfáltico sea el que requiere el proyecto.

Parámetros generales

Toda clasificación incluye parámetros de seguridad y de manipulación o trabajabilidad del ligante.

En este caso, la seguridad se determina con el valor mínimo de temperatura a la cual el ligante demuestre

inflamabilidad. Para todos los grados de PG el valor es el mismo que para un asfalto clasificado como AC-30.

Tanto el punto de inflamación (que se obtiene con la norma INTE C325, ASTM D92 o AASHTO T48) como la viscosidad dinámica (que se obtiene con la norma INTE C340, ASTM D4402 o AASHTO T316) tienen el mismo requisito para todos los PG. Es importante mencionar que en una de las notas se indica que este parámetro se puede eliminar, siempre y cuando se demuestre que no afecta el bombeo ni el mezclado.

Esto es importante especialmente porque la viscosidad de asfaltos modificados aumenta significativamente.

Susceptibilidad a la deformación permanente

Para corroborar que el ligante no sea susceptible a la deformación permanente se mide el módulo G*/sen(δ) a la temperatura superior que se espera tener en el proyecto de acuerdo con la norma INTE C334, AASHTO T315 o ASTM D7175.

Esta susceptibilidad se mide en dos momentos, antes y después del acondicionamiento del ligante en el horno rotatorio de película delgada (RTFO, por sus siglas en inglés).

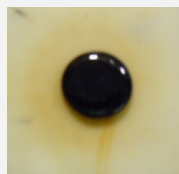


Antes del acondicionamiento, cuando se hace el ensayo a la temperatura requerida para obtener el valor de $G^*/\text{sen}(\delta)$, debe tener un valor mínimo de 1 kPa.

Se recomienda medir a la temperatura requerida y a las temperaturas PG superior e inferior a esta.

Ejemplo: Valor requerido de temperatura es 70 °C.

Temperatura (°C)	$G^*/\text{Sen}(\delta)$ (kPa)
64	3,40
70	1,70
76	0,900



El acondicionamiento en el horno rotatorio de película delgada (RTFO, por sus siglas en inglés) de acuerdo con la norma INTE C335, AASHTO T240 o ASTM D2872, pretende cuantificar cómo y cuánto cambian las propiedades de rigidez del material durante la fabricación de la MAC y durante la colocación de la mezcla en el proyecto. La especificación en el cambio de masa que se debe cumplir después de este acondicionamiento es de 1 % máximo.

El valor definitivo de la temperatura superior se determina evaluando nuevamente el módulo $G^*/\text{sen}(\delta)$ a la temperatura requerida en el proyecto del asfalto acondicionado. La diferencia radica en que el valor mínimo a cumplir debe ser de 2,2 kPa.

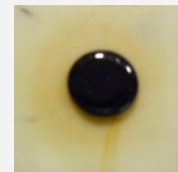
De igual manera se recomienda medir a la temperatura requerida y a las temperaturas PG superior e inferior a esta.

Antes y después del RTFO se cumple que $G^*/\text{sen}(\delta)$ la temperatura superior del proyecto cumple con los requisitos.

Se observa que el requisito de la especificación se cumple a los 76 °C, como el valor final de temperatura superior depende de dos mediciones, se toma el valor crítico, es decir 70 °C.

Ejemplo: Valor requerido de temperatura es 70 °C.

Temperatura (°C)	$G^*/\text{Sen}(\delta)$ (kPa)
64	8,20
70	4,20
76	2,20



Susceptibilidad al agrietamiento por fatiga

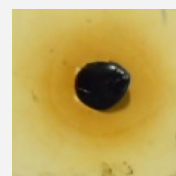
Para predecir la susceptibilidad al agrietamiento por fatiga que podría sufrir el pavimento cuando esté en operación, se acondiciona el ligante residual después del RTFO en el recipiente de envejecimiento acelerado (PAV, por sus siglas en inglés), de acuerdo con la norma INTE C336, ASTM D6521 o AASHTO R28.



Se evalúa el módulo $G^*\cdot\text{sen}(\delta)$, que igualmente se mide a la temperatura requerida. El resultado no debe ser mayor a 6 MPa. Además, se debe verificar que el ángulo de fase sea de 42 ° como mínimo, pero solo si $G^*\cdot\text{sen}(\delta)$ se encuentra entre 5 MPa y 6 MPa.

Ejemplo: Valor requerido de temperatura es 22 °C.

Temperatura (°C)	$G^*/\text{Sen}(\delta)$ (kPa)	Ángulo de fase (°)
19	7,40	40,9
22	5,24	43,2
25	3,44	45,4



Susceptibilidad al agrietamiento por temperatura

Para predecir la susceptibilidad al agrietamiento por temperatura se preparan vigas con el ligante asfáltico acondicionado tanto en el RTFO como en el PAV y se ensayan según la norma INTE C337, ASTM D6648 o AASHTO T313.



Para que se considere que el material se va a desempeñar según los requerimientos del proyecto, este debe cumplir con dos condiciones, una relacionada con la rigidez y otra con la pendiente de la curva que corresponde a la capacidad del material para disipar el esfuerzo.

Es importante mencionar que el ensayo se realiza a 10 °C por debajo del requerimiento del proyecto, es decir, si la temperatura objetivo es de - 22 °C, el ensayo se realiza - 12 °C.

A la temperatura de ensayo se debe cumplir que la rigidez no sea mayor de 300 MPa y que el valor *m* sea 0,3 como mínimo. Es importante mencionar que se debe cumplir con los dos parámetros. Adicionalmente, se ensaya el asfalto a 3 temperaturas y se reporta la que cumple con especificaciones.

Ejemplo: Valor requerido de temperatura es -22 °C.

Temperatura (°C)		Rigidez (MPa)	Valor <i>m</i>
Ensayo	Normalizada		
0	-10	62,6	0,453
-6	-16	79,7	0,359
-12	-22	284	0,301
-18	-28	479	0,282

De acuerdo con los ensayos el ligante asfáltico se clasifica como PG 70-22, que cumple con lo solicitado en el proyecto.

Clasificación PG con MSCR

Lo primero que se debe hacer es identificar los parámetros esperados del material. En la tabla 3 se presenta un extracto correspondiente a una sola temperatura. (4)








Parámetros generales

Los requisitos y la medición de los parámetros generales son iguales que en la Clasificación PG.

Susceptibilidad a la deformación permanente

La diferencia entre la Clasificación PG y la Clasificación PG con MSCR, además del ensayo MSCR, es el concepto de temperatura superior, ya que hay variedad de criterios, algunos analizan el módulo considerando los aumentos y en otros casos no se hacen, incluso se ha propuesto por algunos investigadores una correlación de la susceptibilidad a la deformación permanente con alguno de los parámetros que se estiman en el ensayo. (5).

Tabla 3. Clasificación PG con MSCR del material según las condiciones del proyecto

	Grado de desempeño	PG 70					
		10	16	22	28	34	40
Proyecto	T superior desempeño (°C)	<58 –MSCR o <70 PG					
	T intermedia (°C)	34	31	28	25	22	19
	T inferior desempeño (°C)	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Ligante asfáltico	Ligante original						
	Punto de inflamación	Mínimo: 230 °C					
	Viscosidad a 135 °C	Máximo: 3 Pa·s					
	G*/sen(δ) a 70 °C 	Mínimo: 1 kPa a 10 rad/s					
	Residuo RTFO del ligante asfáltico						
	Cambio de masa-RTFO a 163 °C	Máximo: 1 %					
	G*/sen(δ) a 70 °C-PG 	Mínimo: 2,2 kPa a 10 rad/s					
	MSCR a 58 °C 						
	Tránsito normal "S"	Máximo: J _{nr3,2} 4,5 kPa ⁻¹ y J _{nr dif} 75 %					
	Tránsito pesado "H"	Máximo: J _{nr3,2} 2,0 kPa ⁻¹ y J _{nr dif} 75 %					
	Tránsito muy pesado "VH"	Máximo: J _{nr3,2} 1,0 kPa ⁻¹ y J _{nr dif} 75 %					
	Tránsito extremadamente pesado "E"	Máximo: J _{nr3,2} 0,5 kPa ⁻¹ y J _{nr dif} 75 % ⁿ					
	Residuo RTFO + PAV del ligante asfáltico						
	PAV 2,1 MPa 20 horas	100 °C					
	G*.sen(δ) a 22 °C-PG 	a. Máximo 6000 kPa a 10 rad/s b. Entre 5000 y 6000 kPa, δ 42° Mínimo					
	G*.sen(δ) a 22 °C-MSCR 	Tránsito S- Máximo 5000 kPa a 10 rad/s Tránsito H, VH, E- Máximo 6000 kPa a 10 rad/s					
	Rigidez a -22 °C 	Máximo: Rigidez (S) 300 MPa Mínimo: pendiente (m) 0,300					
	Tensión directa a -22 °C 	Mínimo: 1,0 %					

Como ya se mencionó, la Clasificación PG con MSCR hace el análisis sin aumentos de temperatura. Es decir, la temperatura superior del ensayo es la misma que la temperatura superior del proyecto. Es importante mencionar que usar esta alternativa implica que $G^*/\text{sen}(\delta)$ cumple holgadamente con la especificación.

Ejemplo: De acuerdo con su ubicación la temperatura superior de desempeño es de 58 °C.

Temperatura (°C)	$G^*/\text{Sen}(\delta)$ (kPa)
58	7,40
64	3,40
70	1,70
76	0,900

Al igual que en la Clasificación PG se acondiciona el ligante asfáltico en el RTFO y se mide al residuo el $G^*/\text{sen}(\delta)$ a la temperatura superior requerida, es decir la del proyecto.

Ejemplo: De acuerdo con su ubicación la temperatura superior de desempeño es de 58 °C.

Temperatura (°C)	$G^*/\text{Sen}(\delta)$ (kPa)
58	16,2
64	8,20
70	4,20
76	2,20

Se confirma que a 58 °C se cumple con las especificaciones del material para la temperatura superior del proyecto.

Fluencia y recuperación elástica a esfuerzos múltiples (MSCR)

La capacidad de recuperación elástica del ligante se evalúa en el material acondicionado en el RTFO, o sea suponiendo que el material ya atravesó el proceso de fabricación y está recién colocado.

De acuerdo con las notas de la norma de especificación INTE C332 o AASHTO M332, la medición se realiza a la temperatura alta del proyecto, ya que el aumento de grado de PG por tránsito y velocidad se logra al obtener valores menores del J_{nr} (fluencia acumulada no recuperable) (6) a la temperatura del proyecto.

Según la Tabla 3 se debe obtener un valor de $J_{nr,3,2}$ máximo de 1 kPa^{-1} . El $J_{nr,diff}$ debe tener un valor máximo de 75 % para todas las clasificaciones de tránsito, excepto si el valor de $J_{nr,3,2}$ es menor de 0,5 kPa^{-1} , que en estos casos no se toma en consideración el parámetro $J_{nr,diff}$.

Adicional a los resultados de la especificación, la medición del MSCR genera resultados de recuperación elástica que desde el 2010 se han empezado a conceptuar, especialmente para ligantes asfálticos modificados (7) (Asphalt Institute, 2010), entre ellos la recuperación elástica a 3,2 kPa.

Incluso AASTHO publica la práctica AASHTO R92 (8) en la que se presenta un gráfico que relaciona la recuperación elástica con el $J_{nr,3,2}$. (Ver figura 4)

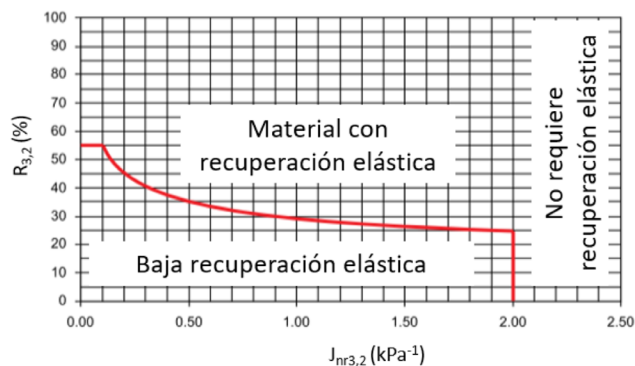


Figura 4. Comparación de la R3,2 con respecto al $J_{nr,3,2}$ (AASHTO R92, 2022).

Ejemplo: De acuerdo con su ubicación la temperatura superior de desempeño es de 58 °C.

Parámetro	Resultado a 58 °C
$R_{0,1}$ (%)	53,3
$R_{3,2}$ (%)	43,9
R_{diff} (%)	17,6
$J_{nr0,1}$ (kPa ⁻¹)	0,385
$J_{nr3,2}$ (kPa ⁻¹)	0,781
$J_{nr diff}$ (%)	25,0

A 58 °C, $J_{nr3,2}$ es menor que 1 kPa⁻¹ y el $J_{nr diff}$ menor que 75 %, por lo que el material se clasifica como PG con MSCR: 58VH, que es lo requerido.

Como información adicional, la recuperación elástica del $J_{nr3,2}$ obtenido supera el valor recomendado.

Susceptibilidad al agrietamiento por fatiga y por temperatura

Ninguno de estos métodos cambia con respecto a la Clasificación PG.

Ejemplo: Valor requerido de temperatura es 22 °C.

Temperatura (°C)	G*/Sen(δ) (kPa)	Ángulo de fase (°)
19	7,40	40,9
22	5,24	43,2
25	3,44	45,4

Ejemplo: Valor requerido de temperatura es -22 °C.

Temperatura (°C)		Rigidez (MPa)	Valor <i>m</i>
Ensayo	Normalizada		
0	-10	62,6	0,453
-6	-16	79,7	0,359
-12	-22	284	0,301
-18	-28	479	0,282

De acuerdo con los ensayos el ligante asfáltico se clasifica como PG 58VH-22, que cumple con lo solicitado en el proyecto.

Referencias

1. Strategic Highway Research Program (SHRP). (1994). *Superior Performing Asphalt Pavement (Superpave) SHRP-A-410*. Strategic Highway Research Program. Washington, DC: National Academy of Sciences.
2. Elizondo-Arrieta, F., Badilla-Vargas, G., Bonilla-Miranda, E., & Rodríguez-Castro, E. (2013). Zonificación climática de Costa Rica para la determinación del tipo de ligante asfáltico clasificado por Grado de Desempeño (PG). Montes de Oca.
3. Awis, M. (20 de diciembre del 2020). *linked.com*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/significance-new-classification-polymer-modified-ie-h-muhammad>
4. INTE 378. (2020). Ligantes asfálticos. Clasificación por grado de desempeño (PG) INTECO. Montes de Oca.
5. Behnood, A., Shah, A., McDaniel, R. S., Beeson, M., & Olek, J. (2016). High-Temperature Properties of Asphalt Binders: Comparison of Multiple Stress Creep Recovery and Performance Grading Systems. *Transportation Research Record*, 2574(1), 131-143. doi:https://doi.org/10.3141/2574-15.
6. INTE 380. (2021). Ligantes asfálticos. Fluencia y recuperación a esfuerzos múltiples (MSCR) utilizando reómetro de corte dinámico. Método de ensayo. INTECO. Montes de Oca.
7. Asphalt Institute. (2 de Diciembre de 2010). Guidance on the Use of the MSCR Test with the AASHTO M320 Specification. Lexington, Kentucky, EEUU.
8. AASHTO R92. (2022). Evaluating the Elastic Behavior of Asphalt Binders Using the Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test. Washington, D.C., EEUU.

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



Aprobado por:

- Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D
Coordinador General de Laboratorios

Revisado por:

- Ing. Mónica Jiménez Acuña
Coordinadora de Laboratorios del Área de Transportes y Pavimentos

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación: MSc. Daniela Martínez Ortiz.

Control de calidad: Óscar Rodríguez Quintana.

Clasificación del ligante asfáltico por Grado de Desempeño (PG)

☎ (506) 2511- 2500

✉ direccion.lanamme@ucr.ac.cr • www.lanamme.ucr.ac.cr