



COGRESO MEXICANO DEL ASFALTO

Expo-ASFALTO 2017

23 - 25 de agosto Cancún 2017

DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN MEDIANTE LA VISCOSIDAD A CORTE CERO.

Israel Sandoval Navarro

LASFALTO S. DE R.L. DE C.V.
Zapopan, México.
israel@surfax.com.mx

Edgar Alonso Ruiz Zárate
Ignacio Ramirez Muñoz
Carmelo Enrique Villa Huerta
LASFALTO S. DE R.L. DE C.V.

Las temperaturas de mezclado y compactación tienen un importante impacto en la calidad y el desempeño de una mezcla asfáltica, existen diferentes trabajos de investigación donde se demuestra que la temperatura de construcción tiene una influencia importante en las propiedades mecánicas de la mezcla.

Existen diferentes métodos para determinar estas temperaturas en asfaltos convencionales para trabajos de laboratorio y regularmente estas temperaturas pueden servir como referencia para trabajos en obra, aunque se deben tomar en cuenta condiciones de campo. Entre estos métodos podemos encontrar el recomendado en "The Asphalt Handbook 7th Edition" del "Asphalt Institute", en este método se presentan los rangos de viscosidad para mezclar y compactar además se menciona que estos rangos no aplican para asfaltos modificados, esto debido a que el comportamiento no-newtoniano de los asfaltos modificados provoca que resulten temperaturas muy altas, en la práctica está comprobado que se requieren temperaturas menores para poder mezclar y compactar adecuadamente. Esto ha llevado a que las temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos modificados sean recomendadas por el proveedor del asfalto modificado o por el proveedor del polímero y estos seleccionan la mayoría de las veces la temperatura por experiencia, dejando siempre la incertidumbre de que estas sean las temperaturas adecuadas para ese asfalto debido a que estas temperaturas deben depender del comportamiento reológico del asfalto y no de la experiencia.

En este trabajo se desarrolla un método para determinar las temperaturas de mezclado y compactación para cualquier asfalto ya sea convencional o modificado basado en sus propiedades reológicas principalmente la viscosidad a corte cero y mediante un reómetro de corte dinámico, equipo que ya es muy común en los laboratorios dedicados a asfaltos en México.

Palabras clave: Asfalto modificado, Temperaturas de mezclado y compactación, Viscosidad a corte cero, Reología.

1. Introducción.

El proceso constructivo es un paso fundamental en la calidad de una carpeta asfáltica, de nada sirve tener los mejores materiales y tener un diseño de alto desempeño si el proceso constructivo no se hace de manera adecuada cuidando los parámetros como espesores, tiempos y temperaturas.

Las temperaturas de mezclado y compactación de una mezcla asfáltica tienen una importancia fundamental en la calidad y desempeño de la mezcla, en mayor medida la temperatura de compactación dado que las propiedades mecánicas dependen fundamentalmente de que la densidad se alcance aun cuando el asfalto tiene una consistencia adecuada, de no ser así el desempeño de la mezcla puede ser muy deficiente y afectar de manera importante la durabilidad.

Existen diferentes métodos para determinar las temperaturas de mezclado y compactación, uno de los más usados y confiables es el presentado en "The Asphalt Handbook 7th Edition" del "Asphalt Institute", en el cual mediante el empleo del viscosímetro rotacional se pueden determinar las temperaturas de trabajo para un asfalto. En dicho método se recomienda elaborar una curva Viscosidad vs Temperatura en una gráfica logarítmica (en el eje de las Y), los rangos de temperatura de mezclado y compactación son los equivalentes a las viscosidades de 0.17 ± 0.02 Pa-s para el mezclado y 0.28 ± 0.03 Pa-s para la compactación.

En la descripción del procedimiento se deja ver que los valores de viscosidad recomendados aplican solo para asfaltos convencionales y para trabajos en laboratorio, aunque regularmente estas temperaturas pueden servir como referencia para trabajos en obra donde se deben tomar en cuenta condiciones de campo.

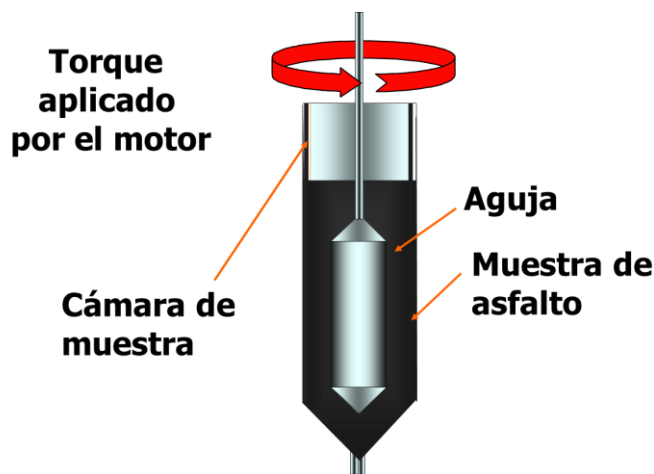


Figura 1. Viscosímetro Rotacional.

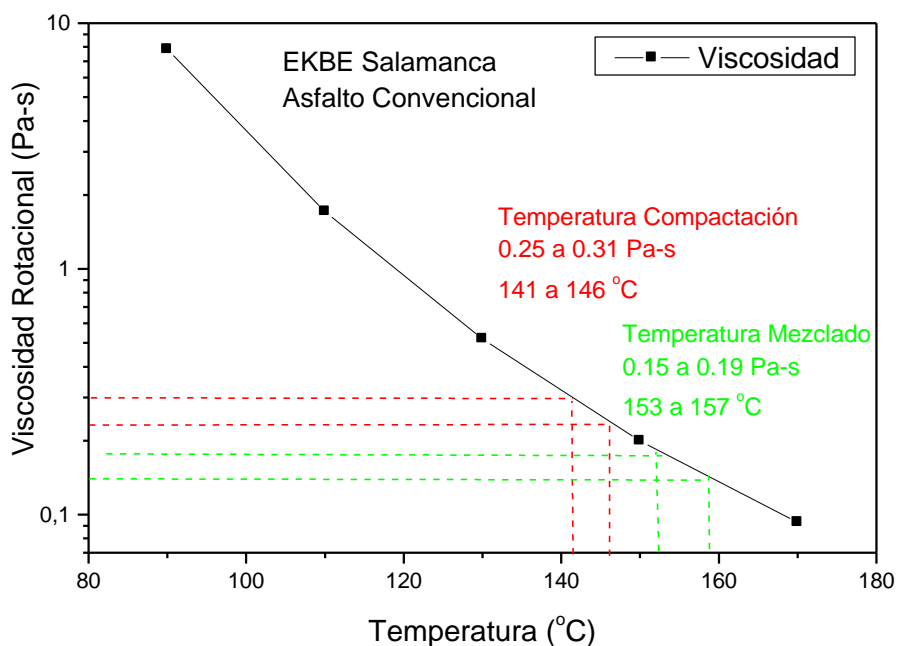


Figura 2. Viscosidad vs Temperatura, se determinan temperatura de mezclado y compactación mediante viscosímetro rotacional.

El procedimiento menciona que estos rangos de viscosidad NO son válidos para ligantes asfálticos modificados y en este caso sugiere tomar en cuenta las recomendaciones del productor del asfalto modificado y estos seleccionan la mayoría de las veces la temperatura por experiencia, dejando siempre la incertidumbre de que estas sean las temperaturas adecuadas para ese asfalto debido a que estas temperaturas deben depender del comportamiento reológico del asfalto y no de la experiencia.

¿Porque los valores de viscosidad no aplican para asfaltos modificados?

El viscosímetro rotacional durante la medición de viscosidad en un asfalto aplica esfuerzos bajos y velocidades de corte relativamente altas, en un asfalto convencional no hay problema debido a que este tipo de asfaltos presentan un comportamiento Newtoniano a las temperaturas de trabajo, lo cual indica que su viscosidad no se ve afectada por el esfuerzo y la velocidad de corte lo cual propicia que el comportamiento del asfalto sea muy parecido tanto a los esfuerzos y velocidades de corte del viscosímetro rotacional como a los esfuerzos y velocidades de corte generados durante la producción en una planta donde son inmensamente



mayores o durante la compactación donde se pueden encontrar esfuerzos altos y velocidades de corte bajas.

La mayoría de los asfaltos modificados presentan comportamiento No-Newtoniano lo cual indica que su viscosidad se ve afectada por el esfuerzo y la velocidad de corte, esto quiere decir que la viscosidad de asfalto modificado puede ser muy diferente si se le aplica una velocidad de corte baja o alta.

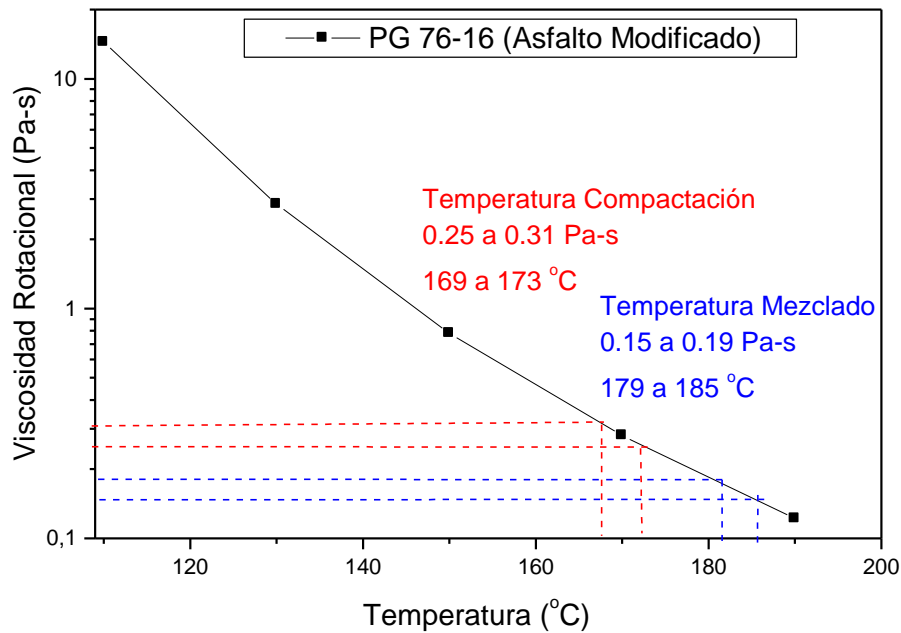


Figura 3. Viscosidad vs Temperatura, se determinan temperaturas de mezclado y compactación para el asfalto modificado – Temperaturas muy altas.

Cuando se intenta determinar las temperaturas de mezclado y compactación empleando el método antes descrito, debido a los esfuerzos bajos y velocidades de corte relativamente altas se obtienen viscosidades y temperaturas muy altas alrededor de 183 y 172 °C respectivamente, para un PG76-16, habiéndose comprobado que para fabricar la mezcla en planta o compactar en campo se requieren temperaturas mucho menores alrededor de 162 y 158 °C respectivamente, esto debido a que al fabricar la mezcla en planta el movimiento de varios miles de kilos de agregado genera esfuerzos muy altos y velocidades de corte tales que vencen la resistencia del asfalto a fluir. Durante el proceso de compactación en campo pasa un efecto parecido, el paso del rodillo sobre la mezcla asfáltica genera esfuerzos de corte muy altos y el desplazamiento de los materiales es lento

reflejándose en velocidades de corte bajas lo que permite menor resistencia del asfalto a fluir resultando en viscosidades y temperaturas no tan altas.

2. Hipótesis.

Dado que las viscosidades recomendadas por el método del viscosímetro rotacional, 0.17 ± 0.02 Pa-s para el mezclado y 0.28 ± 0.03 Pa-s para la compactación, permiten trabajar adecuadamente un asfalto convencional, en este trabajo se pretende encontrar una equivalencia a estos valores empleando la Viscosidad a Corte Cero, este parámetro se determina en un reómetro de corte dinámico a velocidades bajas siendo en esta zona donde la viscosidad del asfalto no depende de la velocidad de corte, donde el asfalto modificado puede presentar comportamiento Newtoniano.

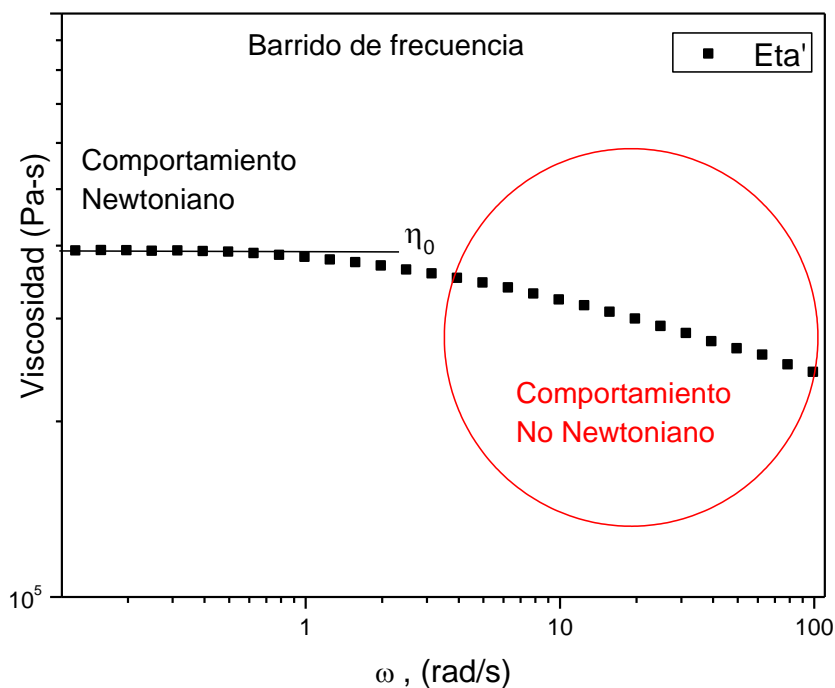


Figura 4. Comportamiento Newtoniano y comportamiento no newtoniano.

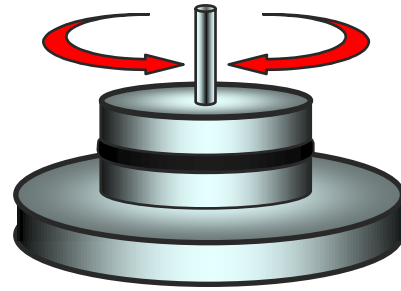


Figura 5. Reómetro de Corte Dinámico.

VISCOSIDAD DE CORTE CERO (η_0).

La viscosidad a corte cero es la viscosidad medida a velocidades de corte extremadamente bajas, velocidades cercanas a cero.

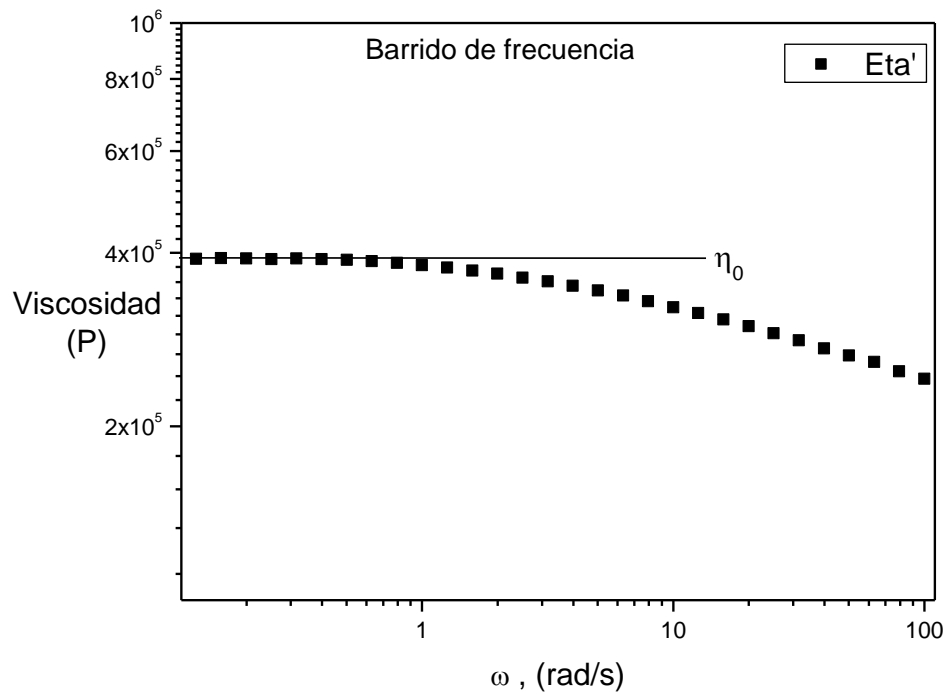


Figura 6. Viscosidad a Corte Cero. Es el valor donde la viscosidad se vuelve constante.

Al aplicar un esfuerzo a un material a velocidades tan bajas la energía se va disipando entre cada una de las capas del material (Figura 7), hasta que la cantidad de energía disipada es constante y la resistencia al flujo que ofrece la estructura del material se vuelve constante, por lo que la viscosidad de corte no cambia y se hace independiente de la velocidad de corte.

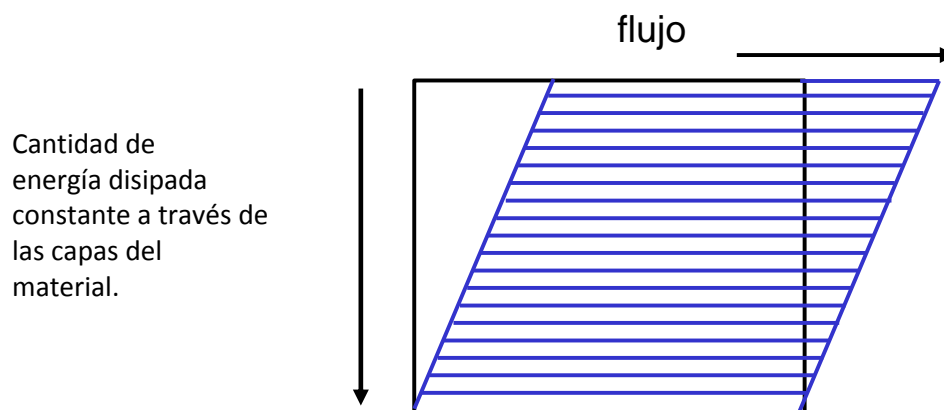


Figura 7. Capas del material. La cantidad de energía disipada entre ellas es constante.

VISCOSIDAD DE CORTE CERO (η_0) como parámetro para determinar las temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos modificados.

Dado que las viscosidades recomendadas por el método del viscosímetro rotacional, 0.17 ± 0.02 Pa-s para el mezclado y 0.28 ± 0.03 Pa-s para la compactación, permiten trabajar adecuadamente un asfalto convencional, en este trabajo se pretende encontrar una equivalencia a estos valores empleando la Viscosidad a Corte Cero, este parámetro se determina a velocidades bajas siendo en esta zona donde la viscosidad del asfalto no depende de la velocidad de corte, donde el asfalto modificado presenta comportamiento Newtoniano.

Se pretende medir la viscosidad a corte cero en un reómetro de corte dinámico para asfaltos convencionales a las temperaturas de mezclado y compactación determinadas en el viscosímetro rotacional y usar esa viscosidad para determinar las temperaturas de mezclado y compactación de los asfaltos modificados.

3. Parte experimental.

Determinación de los valores de Viscosidad a Corte Cero para temperaturas de mezclado y compactación.



Para determinar los valores de Viscosidad a Corte Cero en el reómetro de corte dinámico equivalentes a los valores de viscosidad obtenidos en el viscosímetro rotacional para asfaltos convencionales se llevó a cabo el siguiente proceso.

Paso 1. Temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos convencionales.

Se determinaron las temperaturas de mezclado y compactación de diferentes asfaltos convencionales en un viscosímetro rotacional, empleando los valores recomendados de viscosidad en "The Asphalt Handbook 7th Edition" del "Asphalt Institute" los cuales son: 0.17 ± 0.02 Pa-s para el mezclado y 0.28 ± 0.03 Pa-s para la compactación.

Enseguida se describen los asfaltos convencionales empleados y las temperaturas de trabajo obtenidas.

Tabla 1. Asfaltos convencionales empleados en el estudio.

Asfalto Convencional	PG	Temperatura de mezclado (°C)	Temperatura de compactación (°C)
Ekbe Salamanca	64-16	153 - 159	141 - 146
AC20 Salina Cruz	64-16	154 - 160	142 - 147
USA 1	64-22	161 - 166	149 - 155
AC30 Nicaragua	64-16	152 - 158	140 - 145
USA 2	70-22	159 - 164	147 - 153
AC20 Tula	64-16	156 - 162	144 - 149
60/70 Colombia	58-22	148 - 154	136 - 141
Ekbe Cadereyta	64-22	154 - 160	142 - 147

Paso 2. Viscosidad a Corte Cero a temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos convencionales.

Teniendo las temperaturas de mezclado y compactación para los asfaltos convencionales se procedió a determinar el valor de viscosidad a corte cero para cada asfalto a estas temperaturas.

Se hicieron barridos de frecuencia de 0.1 a 100 rad/s con un esfuerzo de 120 Pa y en un rango de temperatura de 90 a 170 °C y se determinó la Viscosidad a Corte Cero para cada temperatura.

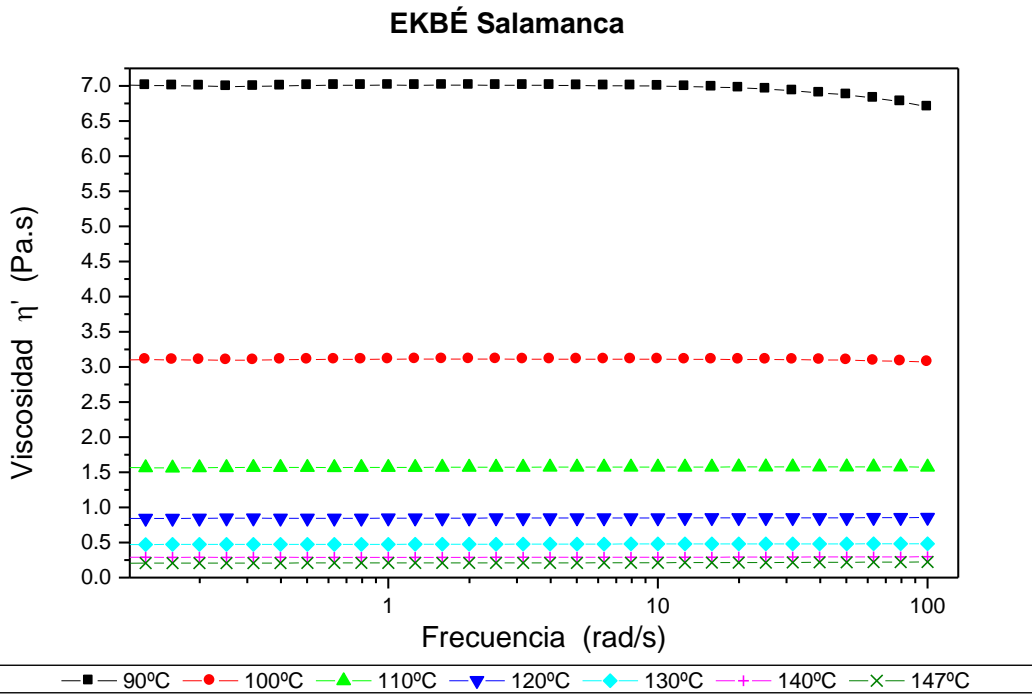


Figura 8. Curvas de viscosidad a diferentes temperaturas obtenidas en barridos de frecuencia, a velocidades bajas la viscosidad es constante. Asfalto convencional.

Con los valores de Viscosidad a Corte Cero a cada una de las temperaturas se elaboró una curva de Viscosidad a Corte Cero vs Temperatura y se determinó la Viscosidad a Corte Cero equivalente a las temperaturas de mezclado y compactación de cada asfalto convencional.

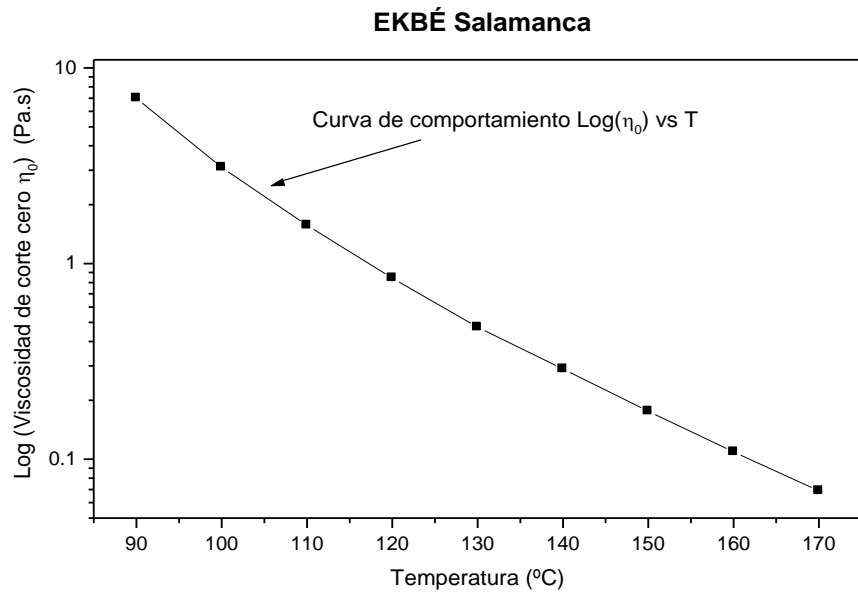


Figura 9. Curva de Viscosidad a Corte Cero $\text{Log}(\eta_0)$ vs Temperatura para asfalto convencional.

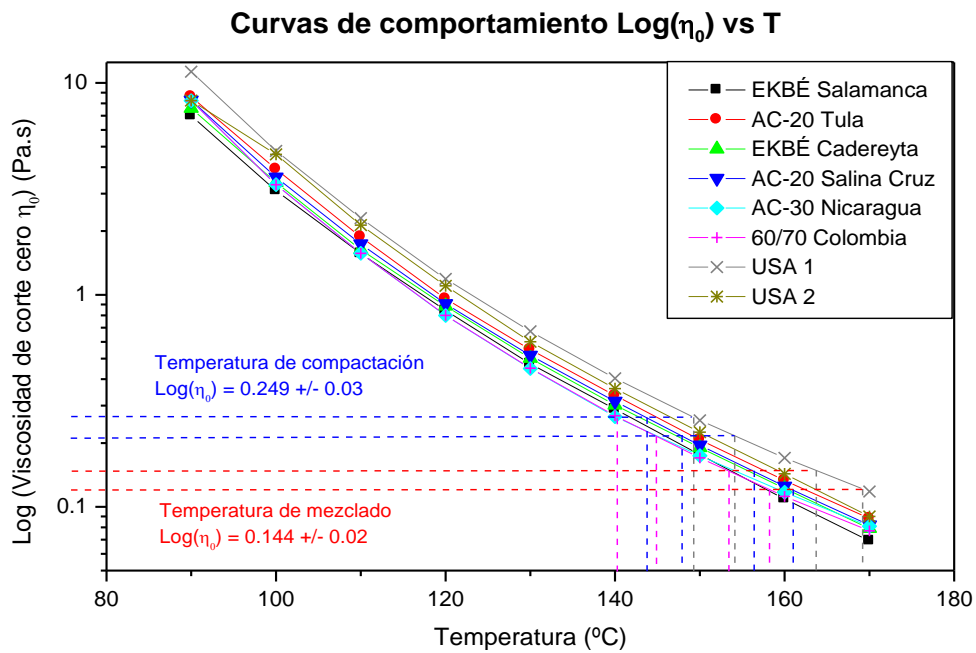


Figura 10. Curvas de Viscosidad a Corte Cero $\text{Log}(\eta_0)$ vs Temperatura para todos los asfaltos convencionales empleados en este estudio. Se determina la VCC equivalente a las temperaturas de mezclado y compactación obtenidas en el viscosímetro rotacional.

Estos valores de viscosidad a corte cero son los que se emplean para determinar las temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos modificados.

Tabla 2. Valores de $\text{Log}(\eta_0)$ para determinar temperaturas de trabajo.

	Temperatura de mezclado	Temperatura de compactación
$\text{Log}(\eta_0)$	0.144 ± 0.02	0.249 ± 0.03

Paso 3. Temperaturas de mezclado y compactación para asfaltos modificados mediante la Viscosidad a Corte Cero.

Para determinar las temperaturas de mezclado y compactación para los asfaltos modificados se realizaron barridos de frecuencia de 0.1 a 100 rad/s con un esfuerzo de 120 Pa y en un rango de temperatura de 100 a 180 °C y se determinó la Viscosidad a Corte Cero para cada temperatura.

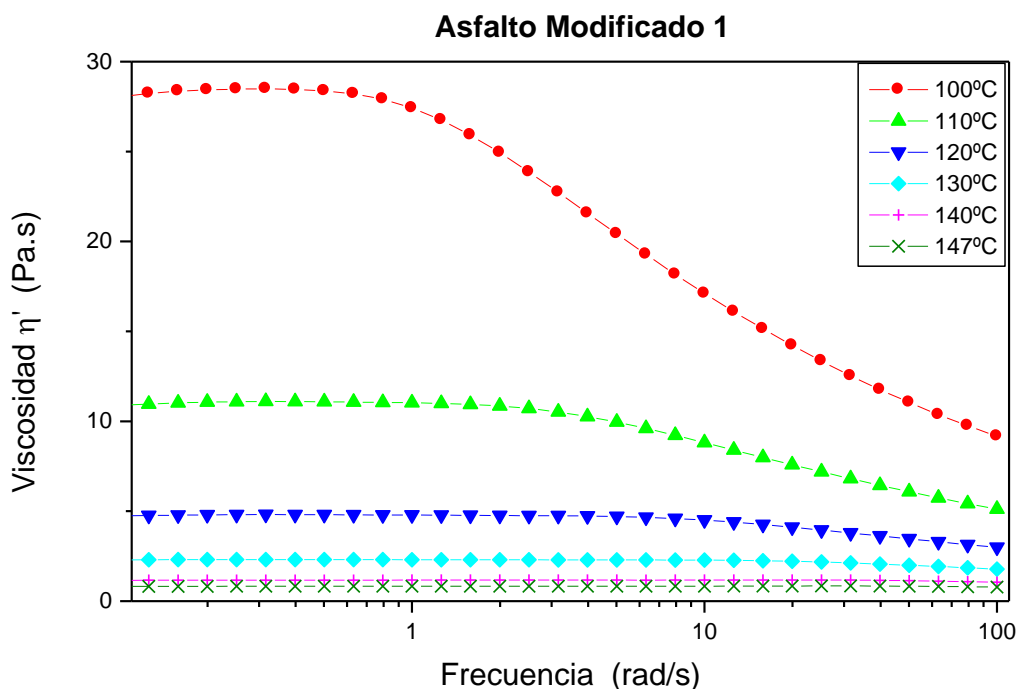


Figura 11. Curvas de viscosidad a diferentes temperaturas obtenidas en barridos de frecuencia, a velocidades bajas la viscosidad es constante. Asfalto Modificado.

Con los valores de Viscosidad a Corte Cero a cada una de las temperaturas se elabora una curva de Viscosidad a Corte Cero vs Temperatura para el asfalto modificado.

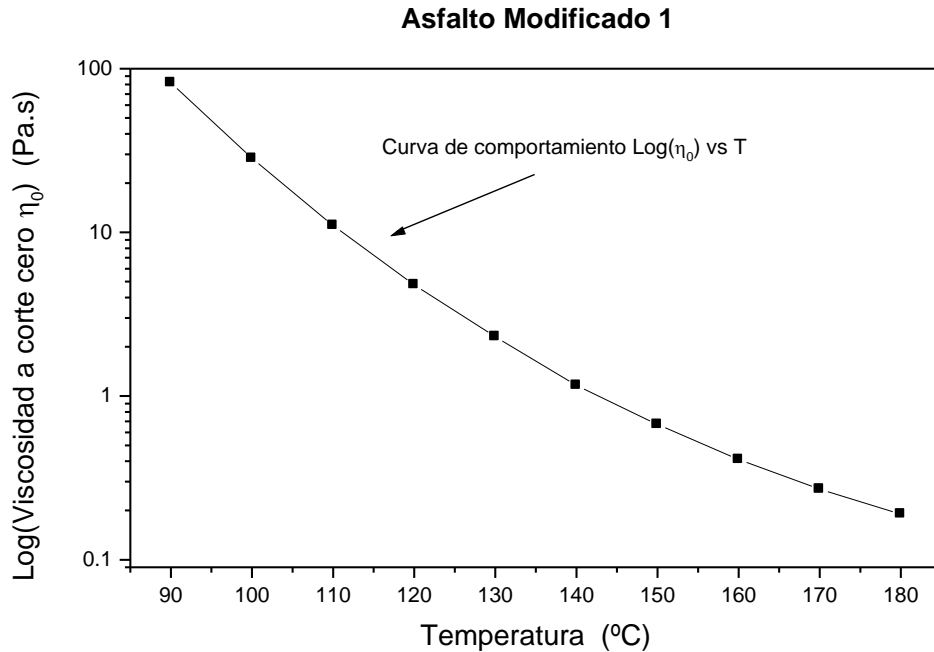


Figura 12. Curva de Viscosidad a Corte Cero $\text{Log}(\eta_0)$ vs Temperatura para asfalto modificado.

Y con el valor de Viscosidad a Corte Cero que se determinó en el paso 2 se determinan las temperaturas de mezclado y compactación para cada asfalto modificado.

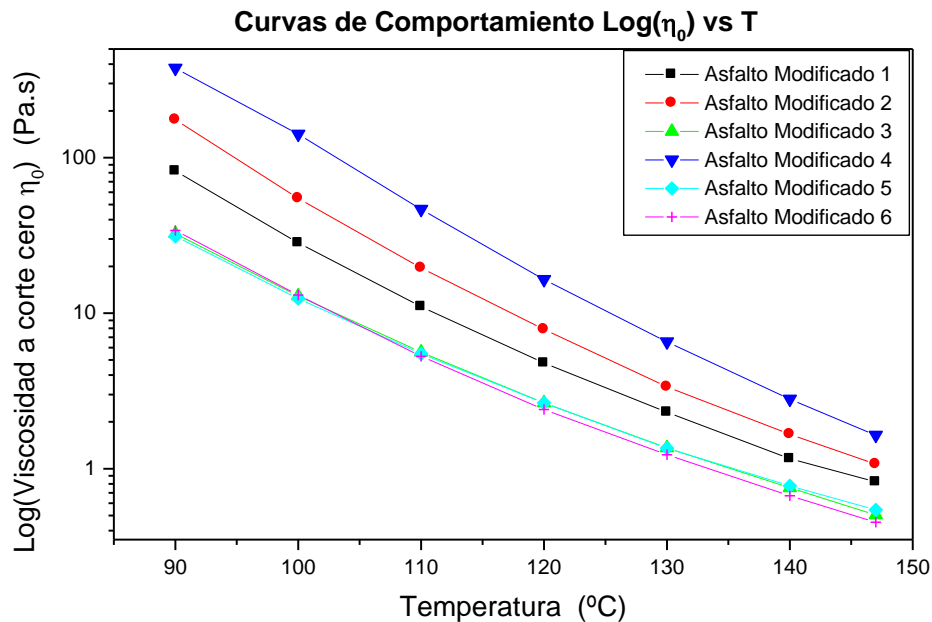


Figura 13. Curvas de Viscosidad a Corte Cero $\text{Log}(\eta_0)$ vs Temperatura para todos los asfaltos modificados empleados en este estudio.



Para agilizar el cálculo y debido a las limitaciones de equipo en cuanto a trabajar a temperaturas altas se pueden tomar 2 puntos, por ejemplo, la VCC a 110 y a 147°C y trazar una línea recta para extrapolar y determinar los valores de viscosidad, esto es posible debido a que se trabaja con un eje logarítmico.

Cálculo de Viscosidad de $\text{Log}(\eta_0)$

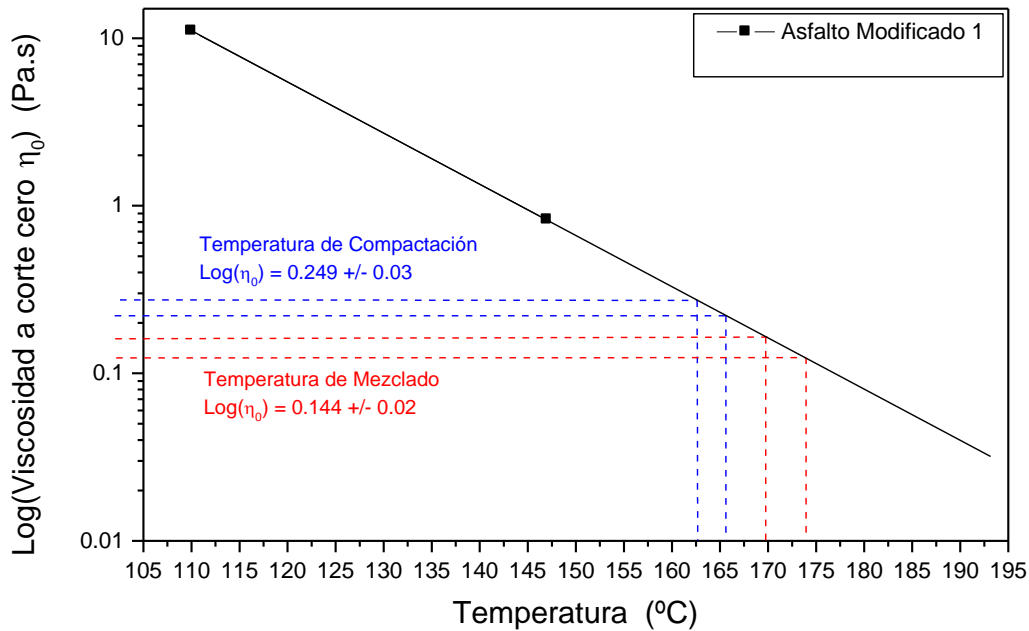


Figura 14. Grafica de Viscosidad a Corte Cero $\text{Log}(\eta_0)$ vs Temperatura, se determinan temperaturas de mezclado y compactación con los valores de VCC establecidos en este estudio.

4. Resultados.

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos para las temperaturas de mezclado y compactación de los asfaltos modificados, la descripción de cada columna se presenta abajo.

Viscosidad Rotacional VR. Son las temperaturas de mezclado y compactación determinadas con el viscosímetro rotacional mediante el método presentado en "The Asphalt Handbook 7th Edition" del "Asphalt Institute". Como se puede observar las temperaturas de mezclado y compactación son muy elevadas, la experiencia nos dice que en campo no es necesario alcanzar esas temperaturas para producir y compactar la mezcla asfáltica.

Experiencia. En esta columna se presentan las temperaturas que regularmente se recomiendan para este tipo de asfaltos. Estas temperaturas se han calculado con trabajos realizados durante 15 años y valores de módulo resiliente con los que se ha determinado que mezclando y compactando a estas temperaturas se obtienen



las mejores propiedades mecánicas para mezclas fabricadas con esos asfaltos modificados. Solo aplican para esos asfaltos modificados en específico y no necesariamente aplican para asfaltos modificados con diferentes materiales o dosificaciones.

Viscosidad a Corte Cero VCC. Son las temperaturas de mezclado y compactación calculadas con los valores obtenidos en el reómetro de corte dinámico empleando la Viscosidad a Corte Cero Log(η_0).

Tabla 3. Temperaturas de mezclado para los asfaltos modificados determinados mediante la Viscosidad a Corte Cero Log(η_0).

Asfalto	PG	δ (°)	Temperatura de mezclado (°C) determinada por		
			Viscosidad Rotacional VR	Experiencia	Viscosidad a Corte Cero
Modificado 1	76-16	62.89	179 – 185	167 – 173	170 – 174
Modificado 2	82-16	57.71	184 – 190	172 – 178	171 – 175
Modificado 3	70-16	67.72	172 – 179	165 – 171	164 – 168
Modificado 4	88-16	51.81	190 – 194	No disponible	172 – 176
Modificado 5	76-16	74.81	176 – 184	No disponible	166 – 170
Modificado 6	76-16	74.26	168 – 174	No disponible	162 – 166

Tabla 4. Temperaturas de compactación para los asfaltos modificados determinados mediante la Viscosidad a Corte Cero Log(η_0).

Asfalto	PG	δ (°)	Temperatura de compactación (°C) determinada por		
			Viscosidad Rotacional VR	Experiencia	Viscosidad a Corte Cero
Modificado 1	76-16	62.89	169 – 173	157 – 163	162 – 166
Modificado 2	82-16	57.71	173 – 177	162 – 168	164 – 168
Modificado 3	70-16	67.72	162 – 165	155 – 161	156 – 160
Modificado 4	88-16	51.81	178 – 182	No disponible	165 – 169
Modificado 5	76-16	74.81	163 – 167	No disponible	158 – 162
Modificado 6	76-16	74.26	159 – 162	No disponible	154 – 158



5. Conclusiones.

Como se puede observar en las columnas de “Viscosidad a Corte Cero” de los Asfaltos modificados 1,2 y 3 en las temperaturas de mezclado y compactación hay similitud con los valores de la columna de “Experiencia”, los rangos de temperaturas de mezclado y compactación concuerdan con los usados en campo.

En el caso de los Asfaltos 5 y 6 que, aunque son PG76-16 como el 1 presentan temperaturas de mezclado y compactación menores, esto debido a los ángulos de fase, los asfaltos 5 y 6 al tener ángulos de fase altos requieren menor energía para fluir de ahí la diferencia con el 1 que al tener un ángulo de fase bajo requiere temperaturas más altas.

Consideramos que el método para determinar las temperaturas de mezclado y compactación mediante la Viscosidad a Corte Cero estima adecuadamente el comportamiento reológico de los diferentes asfaltos tanto convencionales como modificados además de que al trabajar en la zona de VCC se elimina la dependencia de los asfaltos modificados ante la velocidad de corte por lo que puede ser una metodología confiable para determinar estas temperaturas de trabajo.

6. Referencias Bibliográficas.

1. The Asphalt Handbook MS-4, 7th Edition” del “Asphalt Institute.
2. Zero Shear Viscosity of Asphalt Binders, David A. Anderson, Yann M. Le Hir, Jean-Pascal Planche, and Didier Martin. TRB 2014.
3. A comparison of the zero shear viscosity from oscillation tests and the repeated creep test, J. de Visscher, H. Soenen, A. Vanelstraet, P. Redelius. Eurasphalt and Eurobitume Congress 2004.
4. Effects of Temperature and Compaction Effort on Field and Lab Densification of HMA, Robert L. Schmitt, Carl M. Johnson, Hussain U. Bahia, and Andrew Hanz. AAPT 2009.
5. A comparison of the zero shear viscosity from oscillation tests and the repeated creep, Testjournal of Materials in Civil Engineering 2012.
6. Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders in Hot-Mix Asphalt, Donald E Watson; Randy C West; Pamela A Turner; John R Casola; Transportation Research Board, NCHRP Report 648.
7. Mixing and compaction temperatures for hot mix asphalt concrete, Yetkin Yildirim, Mansour Solaimanian, and Thomas W. Kennedy, Texas department of transportation.