

ASUNCIÓN
2022

4^{TO} CONGRESO
PARAGUAYO
**Vialidad
y Tránsito**

Asunción, 20 y 21 de octubre 2022



NIPPON KOEI LAC

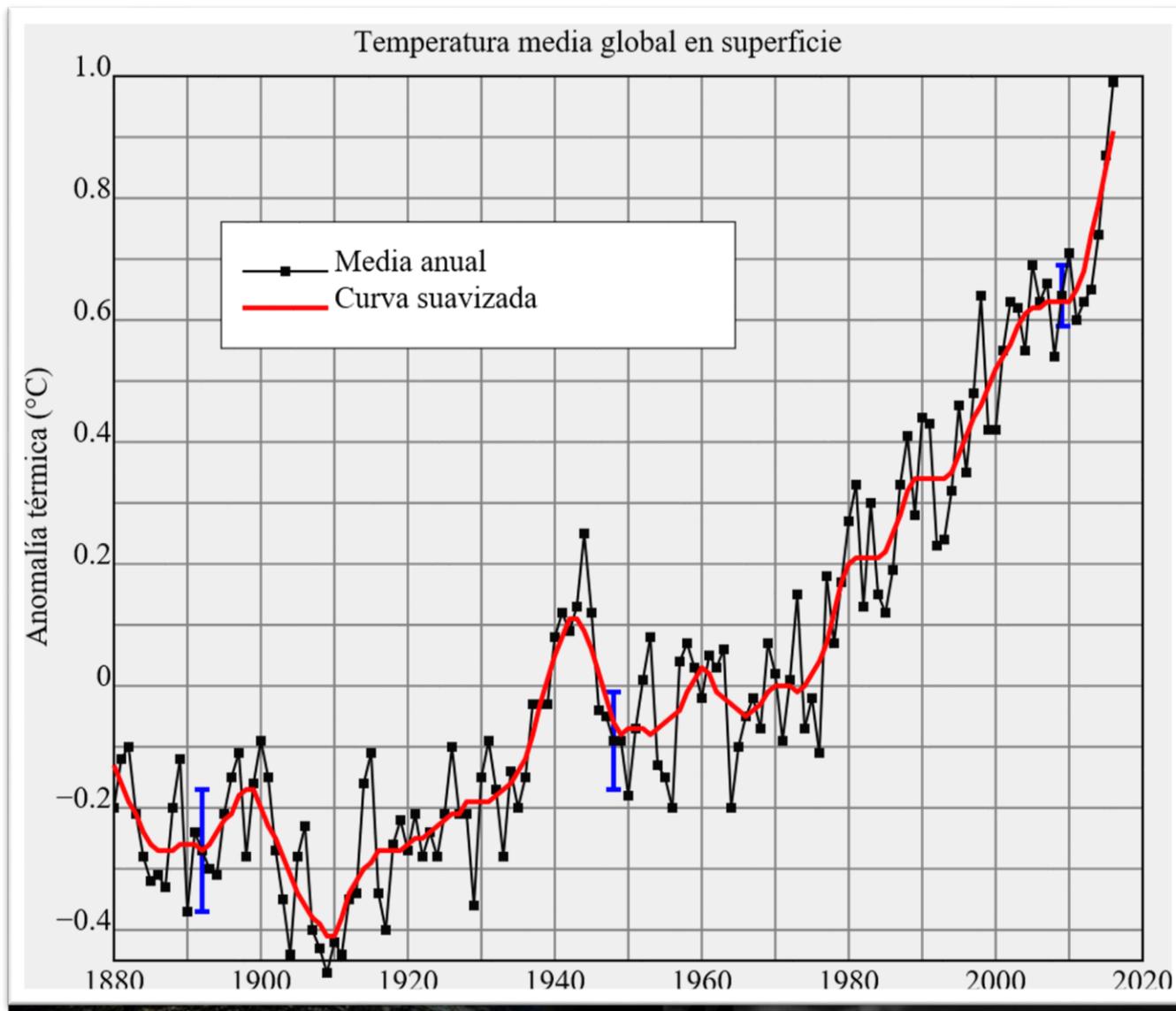


Elaboración de
Mezclas
Asfálticas
Tibias
mediante el uso
de Cera
Polietilénica



Ing. MSc. Alvaro Salazar Cuba

Cambio Climático



- Emisión de gases CO₂, Metano CH₄ y Óxido nitroso N₂O
- Contaminación Industrial
- Protocolo de Kioto (1997)
- Acuerdo de Paris (2015)
- Compromiso en reducción de emisión de gases
- Incremento temperatura de la tierra 0,4 °C en los últimos 20 años
- Cambio en políticas gubernamentales
- Protección al medio ambiente
- Innovación y avance tecnológico en la industria de la pavimentación

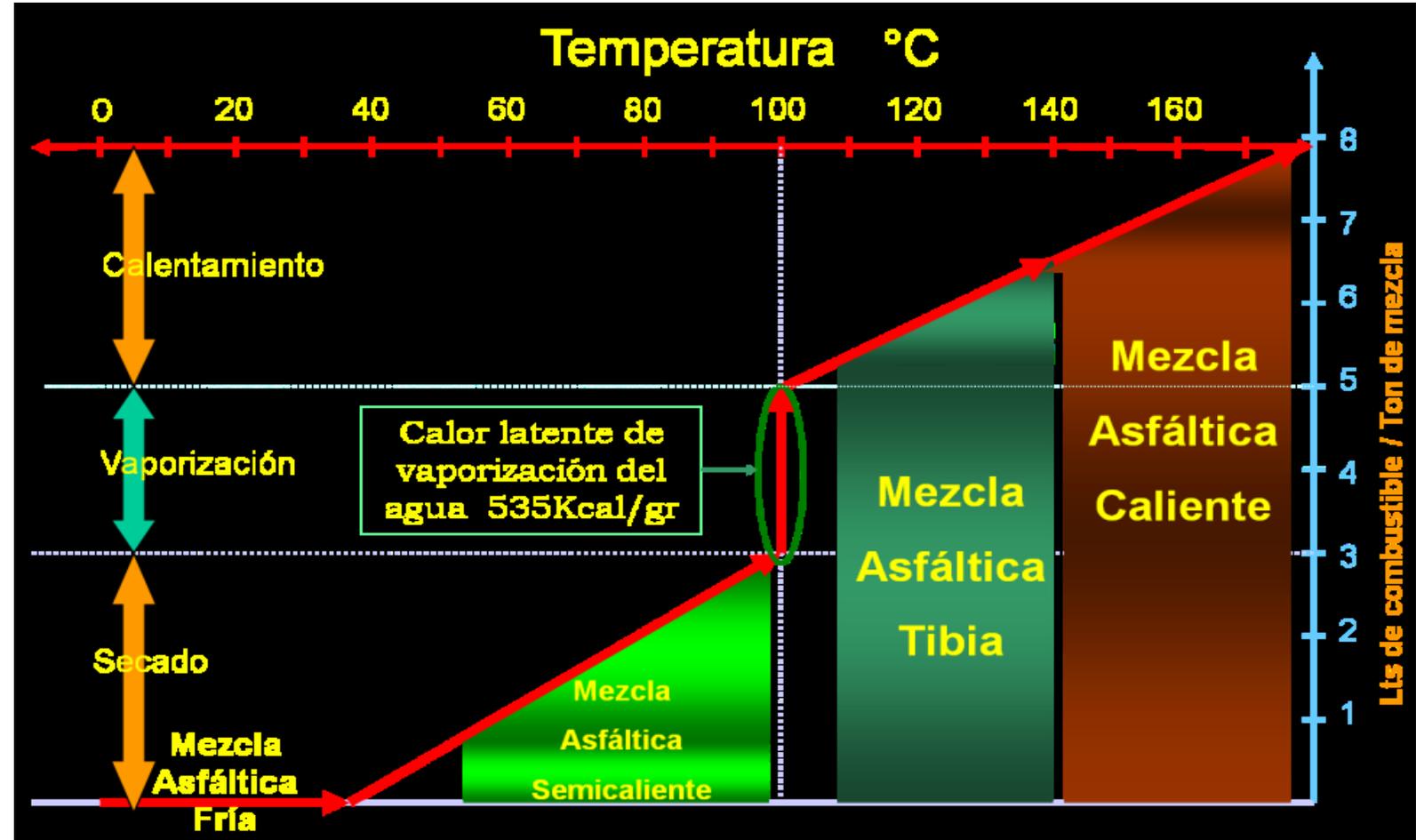
Mezclas Asfálticas Tibias (WMA)

- Mediante WMA se producen mezclas con menor temperatura de colocado por la modificación en la viscosidad del asfalto
- Reduce: polvo, CO₂, consumo energía, tiempo de compactación y puesta en servicio, envejecimiento prematuro
- Incrementa: condiciones de trabajo, trabajabilidad, distancias de transporte, % de RAP, resistencia a la fatiga



Clasificación Rango de Temperatura

- Mezclas frías
- Mezclas templadas
- Mezclas tibias
- Mezclas calientes



Tecnología de Fabricación de WMA



Asfalto Espumado



Se obtiene mediante la inyección de agua y aire a presión directamente en el asfalto caliente, se genera un volumen considerable de vapor que se encarga de incrementar de manera temporal el volumen del asfalto y disminuye la viscosidad del mismo.

Este efecto dota a la mezcla de una mejora notable en el recubrimiento y trabajabilidad de la misma, el agua añadida rápidamente se evapora produciendo un largo volumen de vapor, el cual lentamente va desapareciendo.

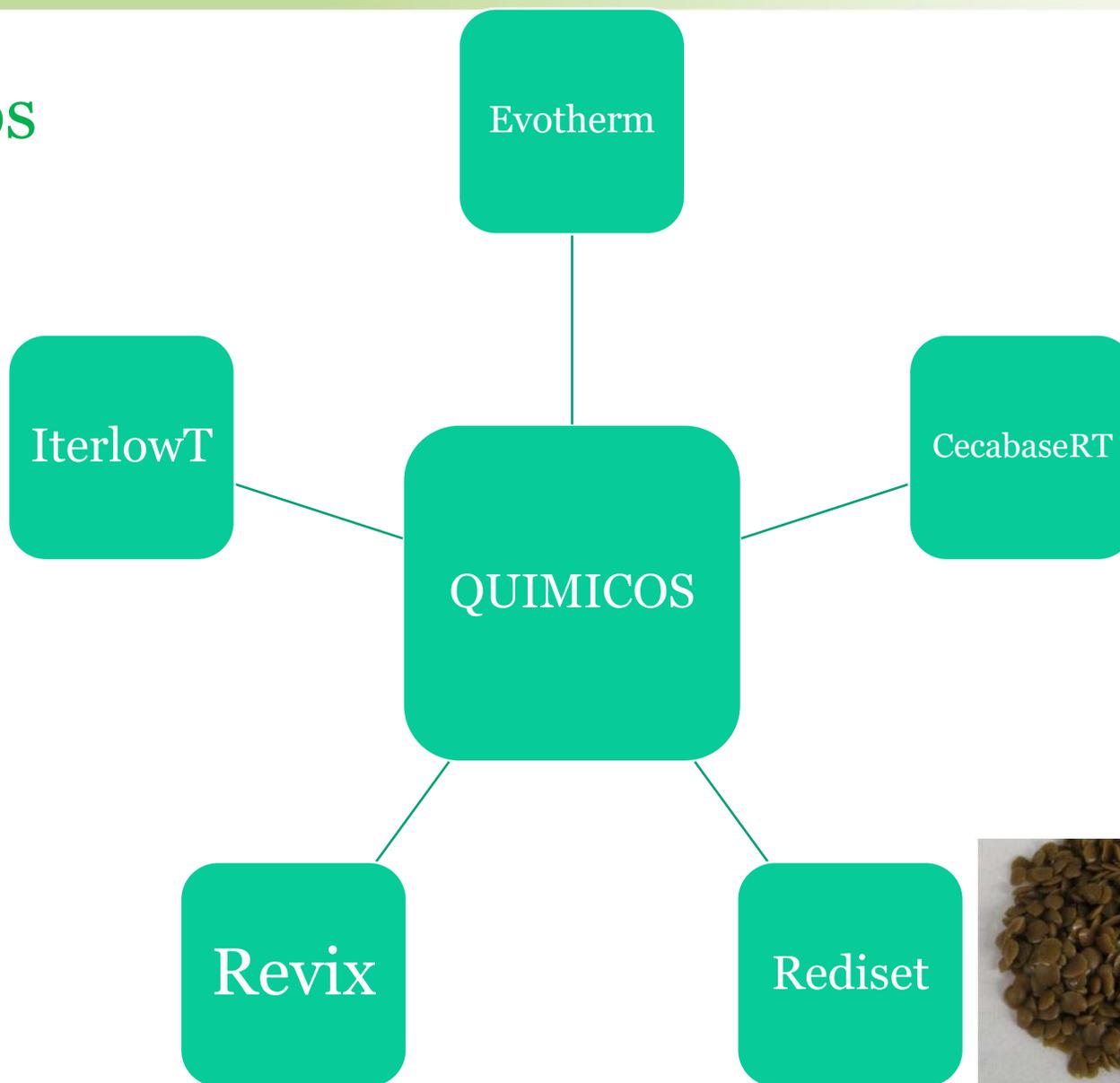
(Double Barrel Green, LT Asphalt, Ultrafoam GX y WAM Foam)



Aditivos Orgánicos



Aditivos Químicos



Diseño de Mezclas Asfálticas Tibias WMA

Los procedimientos de diseño de mezclas tradicionales (Marshall) para mezclas en caliente pueden servir para WMA, el método Superpave fue ampliamente investigado con WMA y es también aplicable a esta tecnología.

Para el **contenido de asfalto** la mayoría de los investigadores recomiendan utilizar el contenido óptimo de asfalto determinado para HMA, ya que su reducción podría conducir a problemas de durabilidad, permeabilidad y susceptibilidad al agua de la mezcla de pavimento resultante.

Superpave

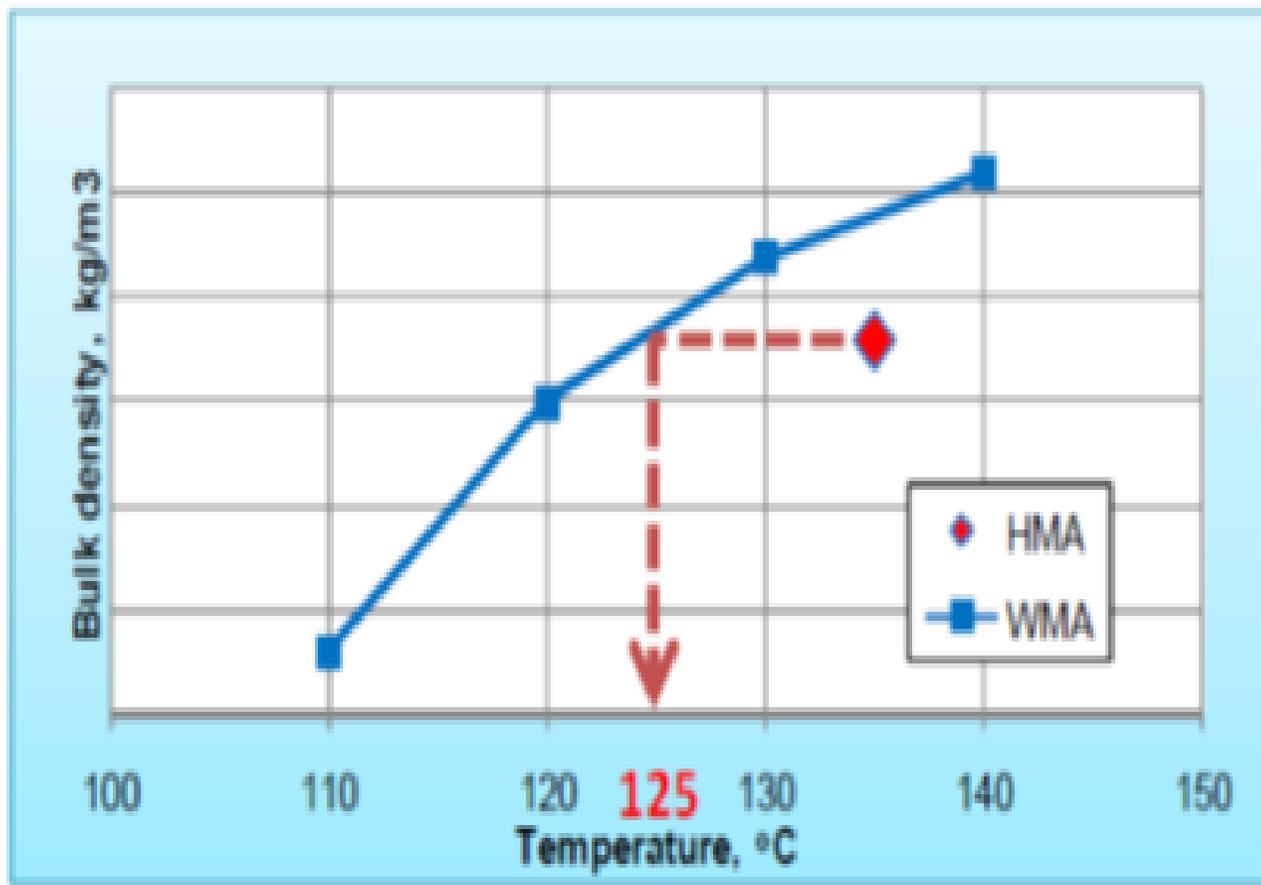


Marshall





Temperatura de Mezclado y Compactación

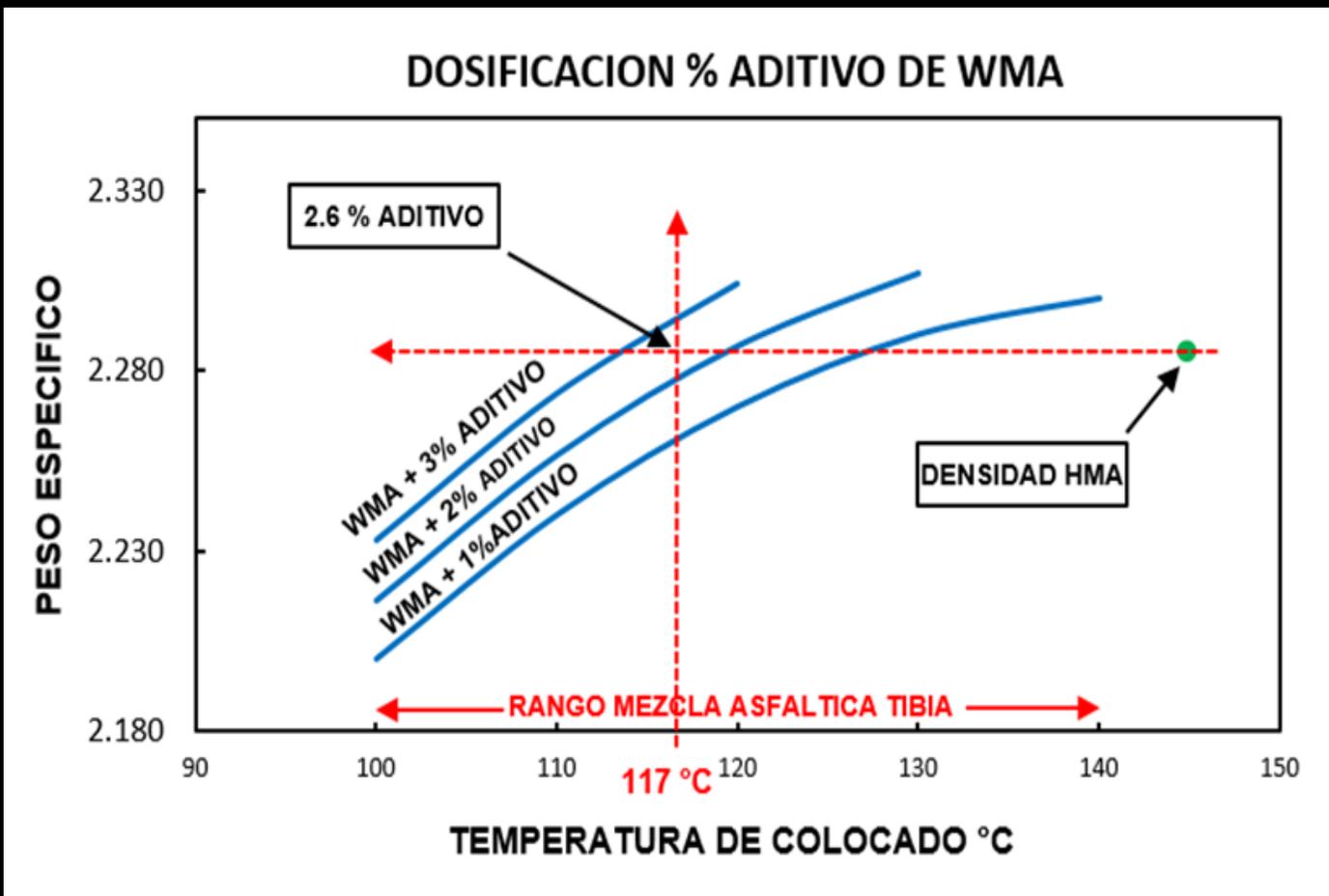


Las temperaturas de mezcla y compactación pueden determinarse a partir del gráfico viscosidad-temperatura, compactación: 0.28 ± 0.03 Pa-s
mezclado: 0.17 ± 0.02 Pa-s

Otra forma para determinar la temperatura de compactación es tomando como referencia la densidades de HMA y comparándola con la densidad de WMA a diversas temperaturas, determinando la temperatura a la cual ambas densidades son iguales.



Dosificación del Aditivo



Es importante fijar la temperatura de colocado de WMA, elaborar especímenes a diferentes temperaturas de compactación (100, 110, 120, 130 y 140 °C), variando el % de aditivo según recomendaciones del fabricante.

Para determinar la tasa óptima de aditivo se debe considerar la densidad de referencia del HMA y a la temperatura fijada de WMA de igual densidad se obtendrá el % óptimo de aditivo, como se muestra en el gráfico.



Cera polietilénica Titan 7205

La empresa Honeywell de USA comercializa este aditivo para asfaltos, el que está compuesto en base a poliolefinas¹ de bajo peso molecular. Las aplicaciones se indican a continuación:

- Mejor trabajabilidad a menor temperatura
- Baja viscosidad y alta estabilidad
- Listo para usar
- Alta calidad



Propiedades	Valor
Dureza @ 25°C	<0.5 dmm
Punto de goteo	116°C
Densidad	0.93 g/cc
Viscosidad @ 140°C Brookfield	450 cps
Índice de Acidez	Nulo

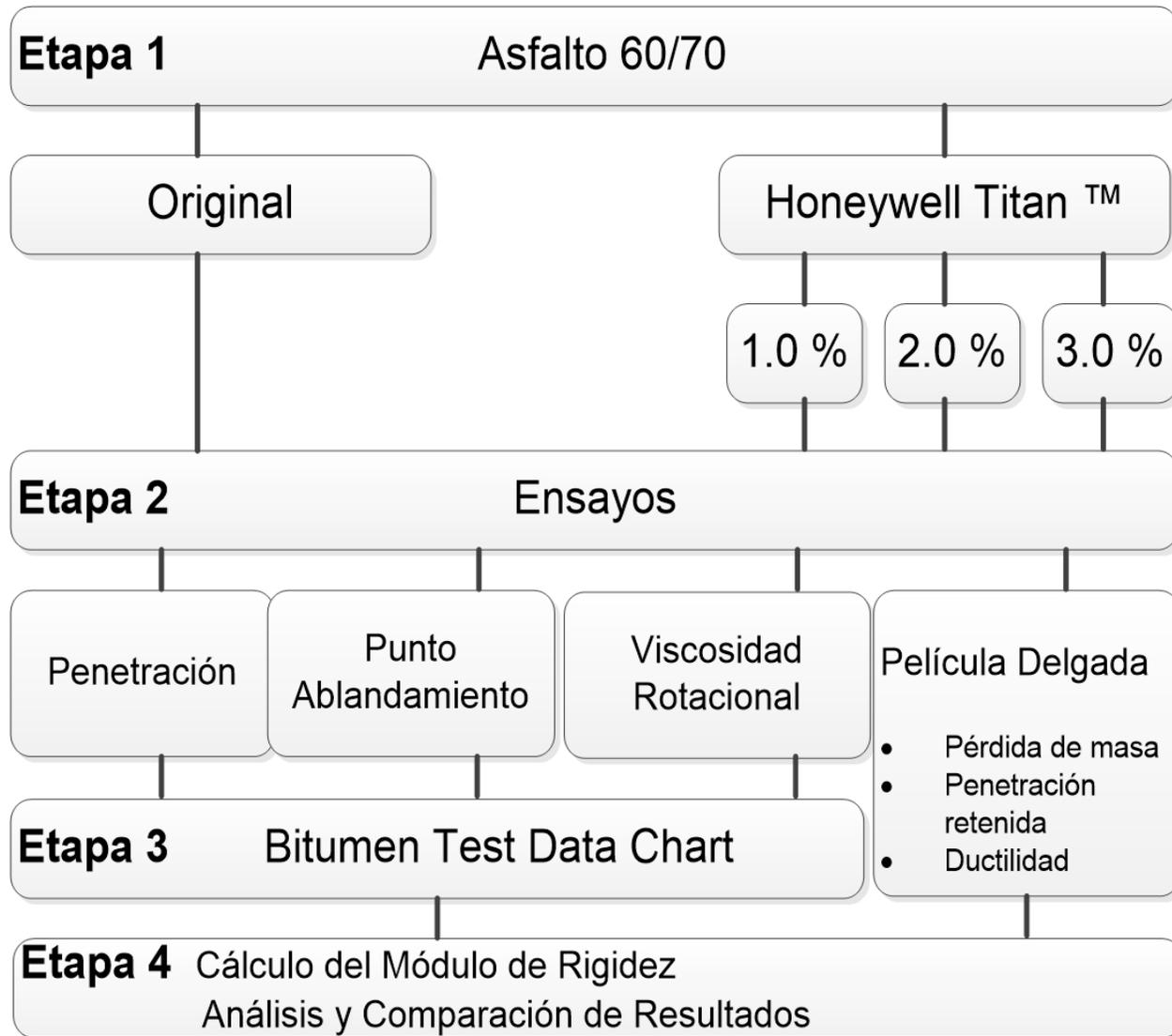


Ensayos de Asfalto

Se utilizó para el presente estudio asfalto tipo 60/70, cuyos ensayos de caracterización bajo Norma ASTM D 946 fueron los siguientes:

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	NORMAS		ESPECIFICACION		VALORES	OBSERV.
		ASTM	AASHTO	Mín.	Máx.		
Penetración a 25°C, 100g, 5 s	dmm	D-5	T 49	60	70	62	CUMPLE
Punto de Ablandamiento	°C	D 36	T 53	46		50	CUMPLE
Punto de inflamación (Copa Abierta de Cleveland)	°C	D 92	T 48	232		>232	CUMPLE
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	D 113	T 51	100		>100	CUMPLE
Solubilidad en tricloretileno	%	D 2042	T 44	99		99.2	CUMPLE
Ensayo sobre residuo de Película Delgada (RTFOT)							
Pérdida por calentamiento	%	D 2872	---		0.8	0.25	CUMPLE
Penetración Retenida a 25°C	%	D 5	T 49	52		53	CUMPLE
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	D 113	T 51	50		>50	CUMPLE

Procedimiento



Etapa 1: Asfalto base 60/70 y tres muestras mezcladas con el aditivo en las siguientes proporciones: 1%, 2% y 3%.

Etapa 2: Tanto al asfalto original 60/70 las muestras mezcladas con aditivo, se realizaron los siguientes ensayos:

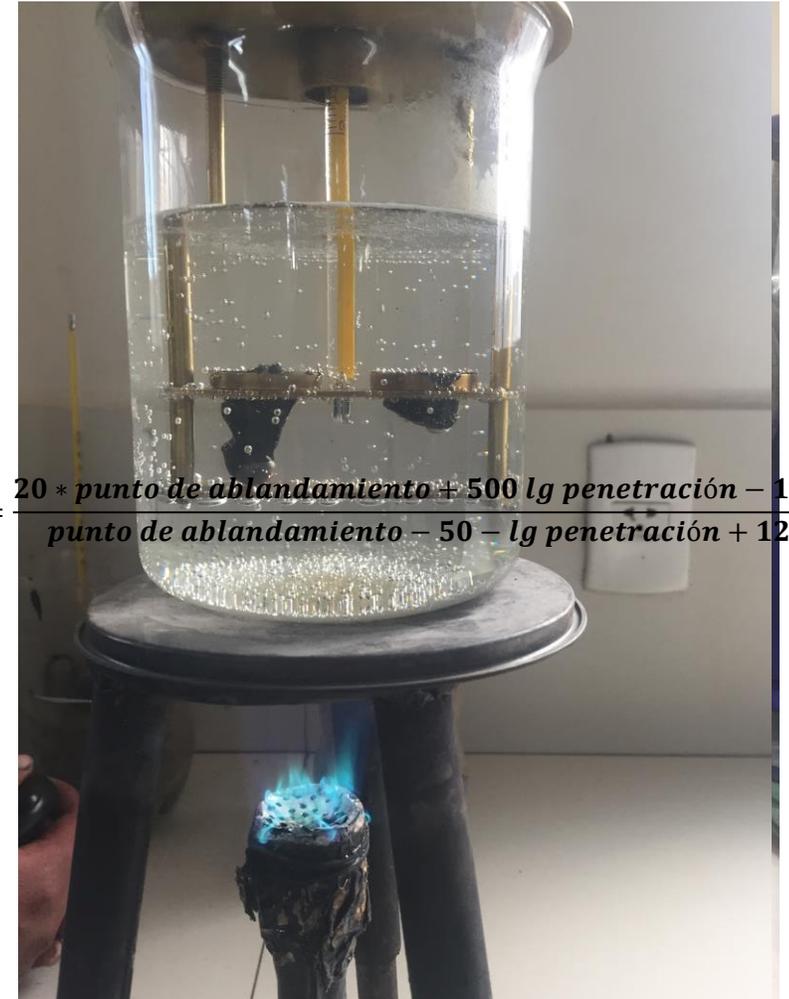
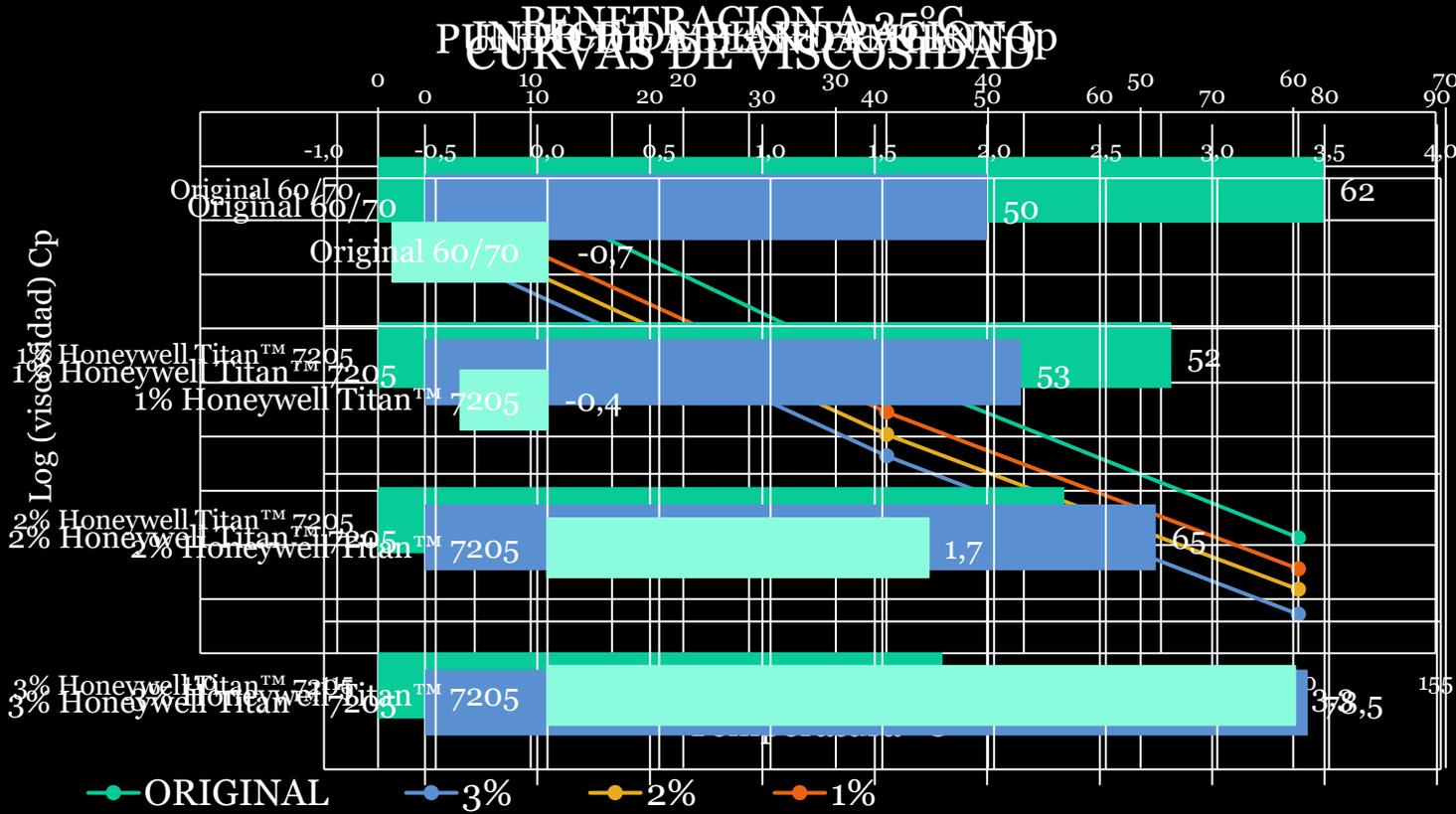
- Penetración a 25°C (ASTM D5)
- Punto de ablandamiento (ASTM D36)
- Viscosidad rotacional a 120, 135 y 150°C (ASTM D4402)
- Película delgada (ASTM D1754)

Etapa 3: Procesamiento de los resultados:

- Evaluación de la reología de asfalto comportamiento viscosidad-temperatura
- Elección del contenido de aditivo para el diseño de la mezcla
- Estimación de la temperatura teórica de mezclado
- Evaluación teórica del módulo de rigidez para el asfalto

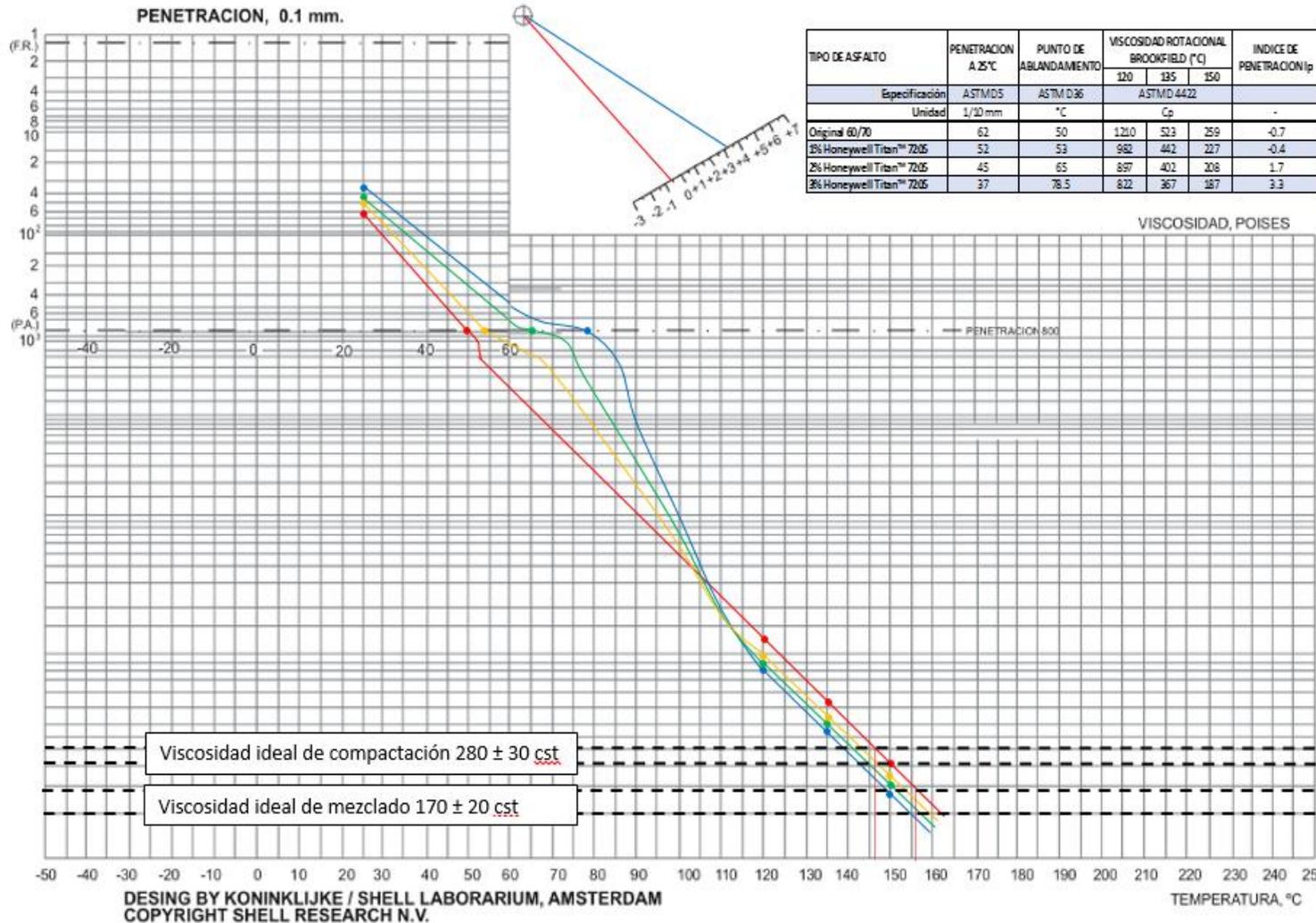
Etapa 4: Análisis y Comparación de Resultados

Ensayos del Asfalto



$$IP = \frac{20 * \text{punto de ablandamiento} + 500 \lg \text{ penetración} - 1952}{\text{punto de ablandamiento} - 50 - \lg \text{ penetración} + 120}$$

TIPO DE ASFALTO	PENETRACION A 25°C	PUNTO DE ABLANDAMIENTO	VISCOSIDAD ROTACIONAL BROOKFIELD (°C)			INDICE DE PENETRACION Ip
			120	135	150	
Especificación	ASTM D5	ASTM D36	ASTM D 4422			
Unidad	1/10 mm	°C	Cp			-
Original 60/70	62	50	1210	523	259	-0.7
1% Honeywell Titan™ 7205	52	53	982	442	227	-0.4
2% Honeywell Titan™ 7205	45	65	897	402	208	1.7
3% Honeywell Titan™ 7205	37	78.5	822	367	187	3.3

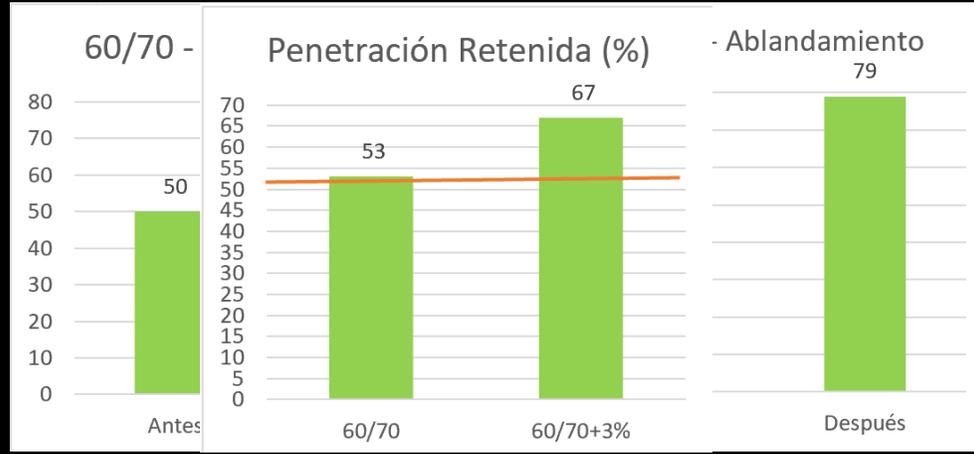


Bitumen Test Data Chart

La representación del comportamiento de la viscosidad los asfaltos ensayados fue realizada mediante el gráfico BTDC que relaciona la viscosidad con la penetración, punto de ablandamiento y ruptura de Fraass.

Se observa la disminución de la viscosidad del asfalto original en comparación con el mezclado con 3% de aditivo para temperaturas altas.

La temperatura de mezclado: 155°C mezcla de control y 145°C WMA.



Ensayo RTFOT

La penetración del asfalto original 60/70 se reduce, efecto normal debido al envejecimiento. Este efecto es menor para el asfalto con aditivo al 3%, debido a que la cera se cristaliza por lo que experimenta un menor envejecimiento inicial a corto plazo.

Es notorio el incremento del punto de ablandamiento para el asfalto original 60/70, debido al endurecimiento del mismo, mientras que para el asfalto con aditivo al 3% este efecto es menor.

Las propiedades de ductilidad después del envejecimiento muestran que el asfalto con aditivo al 3% es menos dúctil, debido al endurecimiento del mismo.

ENSAYO	Unidad	ASTM D 946		Tipo Asfalto	
		Mín.	Máx.	60/70	60/70+Titan3%
Penetración (25°C, 100g, 5 seg)	dmm	60	70	62	37
Punto de ablandamiento	°C	46	-	50	78
Ductilidad a 25°C, 5cm/min	cm	100	-	>100	>100
Ensayo sobre el residuo de RTFOT					
Pérdida de masa	%	-	0.8	0.25	0.19
Penetración retenida	%	52	-	53	67
Ductilidad a 25°C, 5cm/min.	cm	50	-	>50	40
Punto de ablandamiento	°C	-	-	78	79

Etapa 1: Se utiliza la misma composición de agregados tanto para WMA como para HMA:

- a) Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente de referencia con asfalto base 60/70
- b) Diseño de Mezcla Asfáltica Tibia asfalto base más 3% de aditivo Honeywell Titan 7250

Se define la temperatura de compactación para la mezcla de referencia se define en **145°C**.

Se preparan probetas de la mezcla con 3% de aditivo Honeywell Titan 7250 con las siguientes temperaturas de compactación: 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C y 150°C y se mide sus densidades.

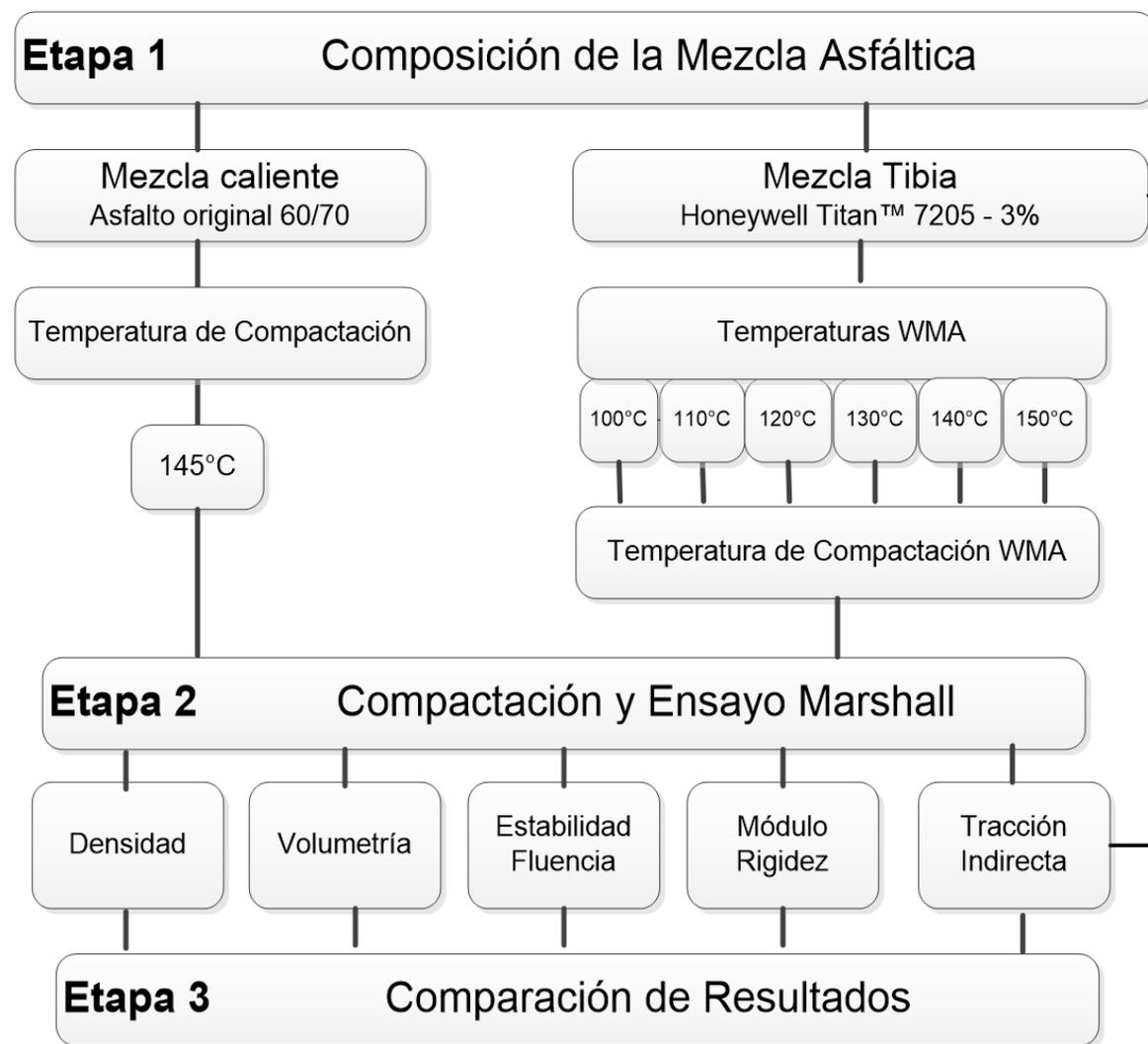
Etapa 2: Ejecutar el Diseño Marshall para la mezcla convencional. Con base en la densidad máxima de la mezcla de referencia se calcula la temperatura de compactación de la mezcla tibia con 3% de aditivo Honeywell Titan 7250.

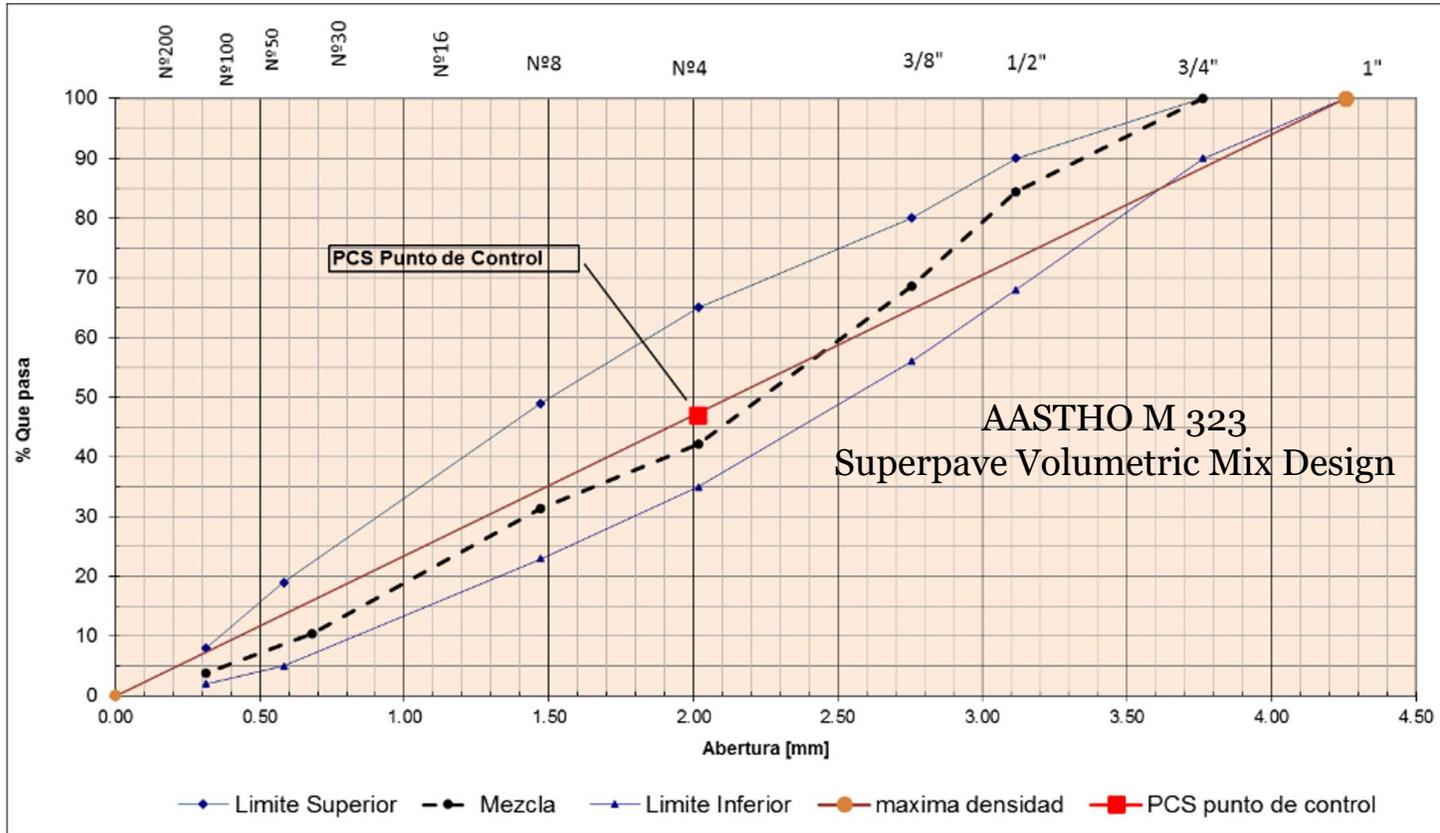
Ejecutar el ensayo Marshall para la mezcla con 3% de aditivo Honeywell Titan 7250 obteniendo los parámetros del ensayo.

Etapa 3: Comparación de los resultados:

- a) Comparación del porcentaje de vacíos de la mezcla
- b) Comparación de las densidades de compactación
- c) Comparación de la fluencia de ambas mezclas
- d) Comparación de módulo de rigidez
- e) Comparación del ensayo de Tracción Indirecta

Ensayos de Mezcla Asfáltica





Granulometría de la Mezcla

Los agregados utilizados se produjeron en el Proyecto de asfaltado del tramo Uyuni – Atocha en el banco de préstamos denominado “Tres Cerrillos”.

Los ensayos realizados para la caracterización de los agregados fueron:

- Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos ASTM C136
- Peso específico y absorción del agregado grueso ASTM C127
- Peso específico y absorción del agregado fino ASTM C 128

COMBINACION DE AGREGADOS

No	DIAMETRO mm.	A GREGADOS GRANULOMETRIA				COMBINACIONES				GRANUL FINAL 100%	ESPECIFICACIONES TECNICAS		
		GRAVA 3/4" PQP %	GRAVA 3/8" PQP %	AREN MACH PQP %	ARE NAT PQP %	GRAVA 3/4" 25%	GRAVA 3/8" 30%	AREN MACH 35%	ARE NAT 10%		No	ASTM D 3515	AASHTO M 323
3/4"	19.000	100.00	100.00	100.00	100.00	25.00	30.00	35.00	10.00	100.00	3/4"	90 - 100	90 - 100
1/2"	12.500	37.75	100.00	100.00	100.00	9.44	30.00	35.00	10.00	84.44	1/2"	- - -	- - 90
3/8"	9.500	0.84	78.11	100.00	100.00	0.21	23.43	35.00	10.00	68.64	3/8"	56 - 80	- - -
N4	4.750	0.45	0.92	91.08	99.70	0.11	0.28	31.88	9.97	42.24	N4	35 - 65	- - -
N8	2.360	0.41	0.47	62.02	94.00	0.10	0.14	21.71	9.40	31.35	N8	23 - 49	23 - 49
N40	0.425	0.35	0.39	18.20	38.42	0.09	0.12	6.37	3.84	10.42	N50	5 - 19	- - -
N200	0.075	0.25	0.31	8.59	6.72	0.06	0.09	3.01	0.67	3.83	N200	2 - 8	2 - 8

Diseño Marshall Mezcla Convencional

La temperatura de mezclado para la mezcla asfáltica en caliente de control, fue de 155°C de acuerdo con lo obtenido en el nomograma de Heukelom.

La compactación se realizó de acuerdo con el método Marshall, utilizando un martillo de 10 lb de peso con una altura de caída de 18"; se aplicaron 75 golpes por cada cara de las probetas de ensayo que corresponde a tráfico pesado según las recomendaciones establecidas por el Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica.

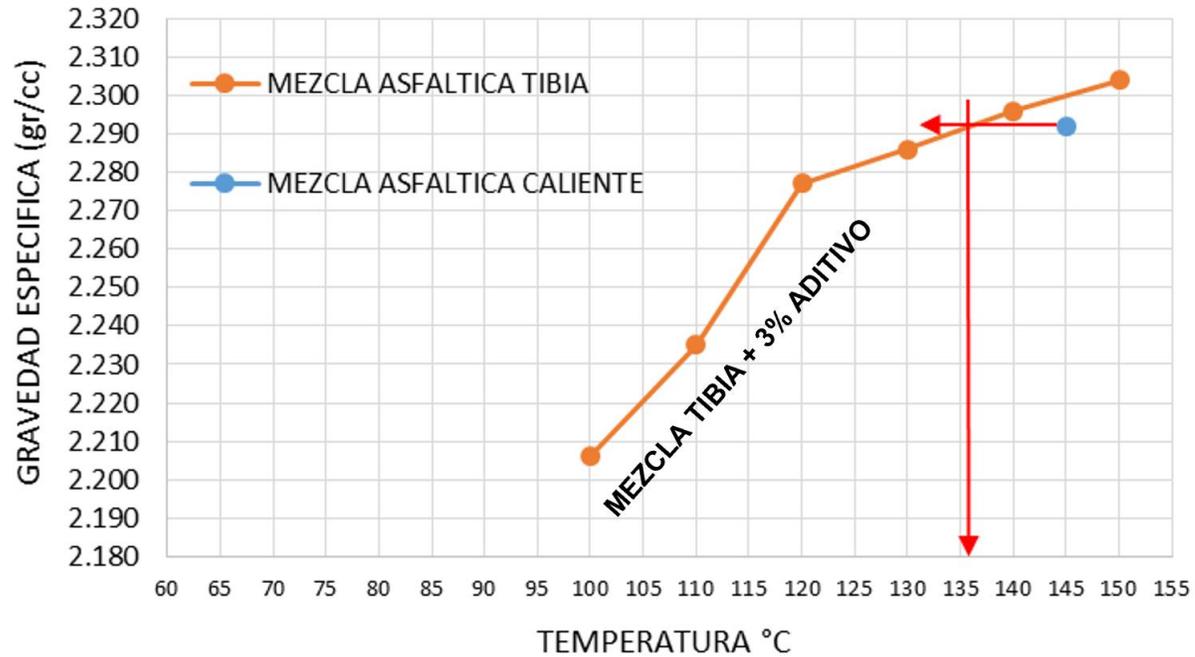
CRITERIOS METODO MARSHALL	Tráfico Ligero		Tráfico Medio		Tráfico Pesado	
	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.
Compactación, número de golpes en cada cara de las briquetas	35		50		75	
Estabilidad Marshall (lb)	750	---	1200	---	1800	---
Flujo (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de Vacíos (%)	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral VAM (%) Tamaño Máx. 3/4"	12	---	13	---	14	---
Porcentaje de vacío rellenos de Asfalto (%)	70	80	65	78	65	75

- Estabilidad Marshall 5.7 %
 - Gravedad Específica 6.3 %
 - Vacíos de la Mezcla V_a 6.2 %
- Promedio 6.06 %**

Se adopta un porcentaje de 6%



GRAVEDAD ESPECIFICA - TEMPERATURA COMPACTACION

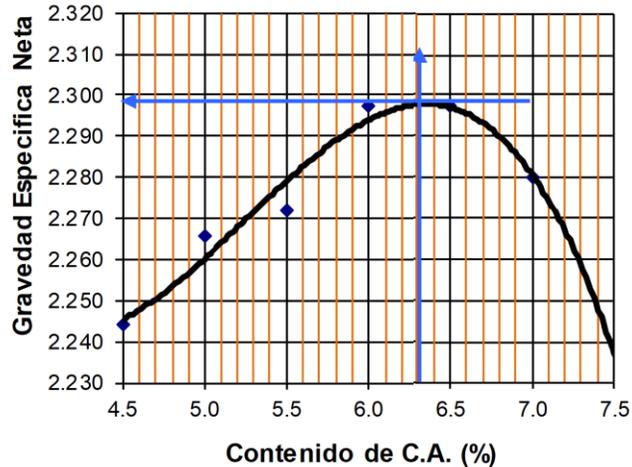


Temperatura Compactación WMA

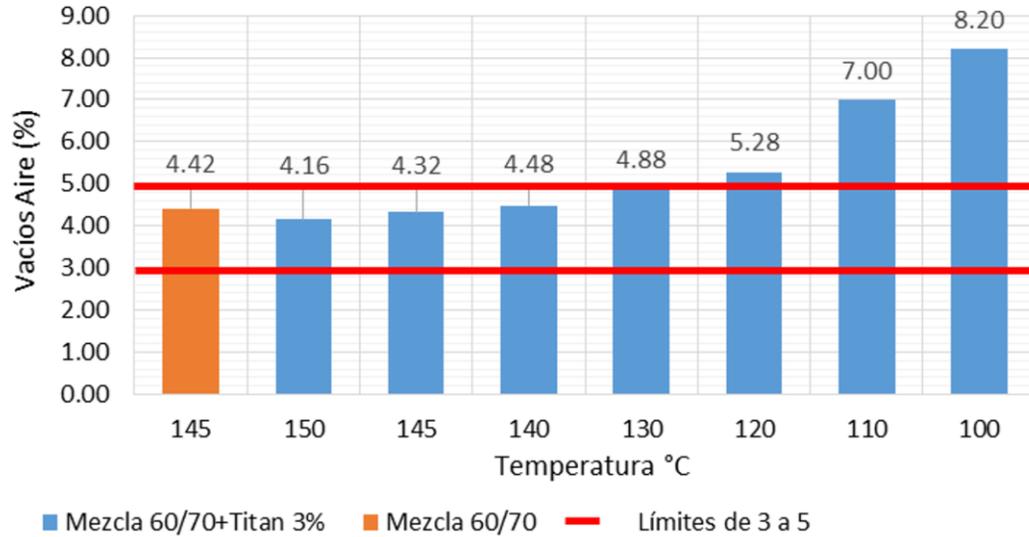
Se elaboraron muestras de mezcla tibia, con 3% de aditivo, a diferentes temperaturas de compactación: 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C y 150°C y determinando sus gravedades específicas.

A partir de los datos obtenidos se incluye en el gráfico el valor de la gravedad específica de la mezcla convencional y se determina la temperatura de compactación de la mezcla tibia para la misma gravedad específica de la mezcla de control con un valor de 2.297 gr/cc.

Como puede observarse la temperatura de compactación de la mezcla producida con asfalto 60/70 más 3% de aditivo Honeywell Titan es de 135°C.



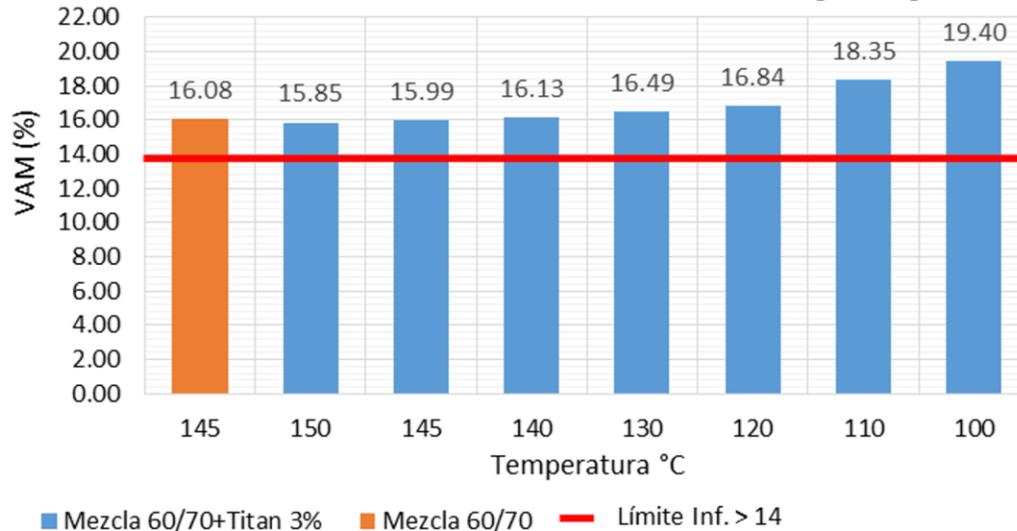
% VACIOS DE AIRE EN LA MEZCLA [Va]



Análisis de % Vacíos

Como se observa en ambos casos el porcentaje de vacíos se incrementa a menor temperatura de compactación, se percibe que existen leves incrementos en el porcentaje de vacíos hasta 130°C y que a partir de este valor el incremento es mucho mayor. Este efecto se debe al incremento en la viscosidad del asfalto a menor temperatura lo que no permite que la compactación sea la óptima y disminuya la estabilidad Marshall y se incremente el flujo de la mezcla.

% VOL DE VACIOS AGREGADO MINERAL [VAM]



Cabe destacar que la temperatura de compactación a 130°C, donde no se aprecia una variación considerable en el porcentaje de vacíos, coincide razonablemente con la temperatura de compactación definida para la mezcla tibia anteriormente, por lo que dicha temperatura se puede establecer por ambos procedimientos.

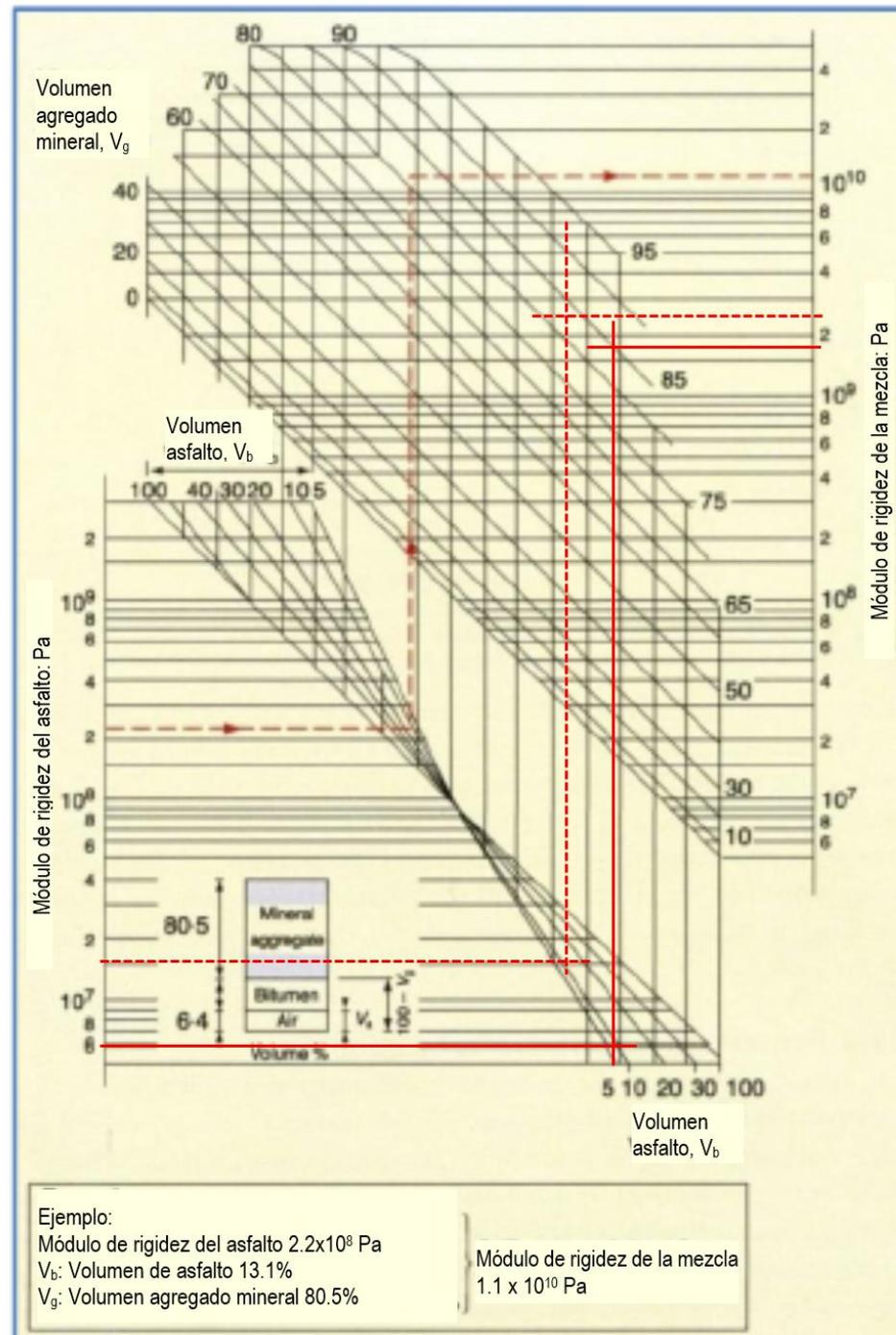
Módulo Rigidez Mezcla

Se puede estimar el Módulo de rigidez de la mezcla a partir del modelo de predicción de Shell, que en la forma de un nomógrafo requiere tres parámetros:

- el módulo de rigidez del asfalto
- el porcentaje de volumen del asfalto
- el porcentaje de volumen del agregado mineral

Con los datos antes indicados se obtienen los siguientes valores.

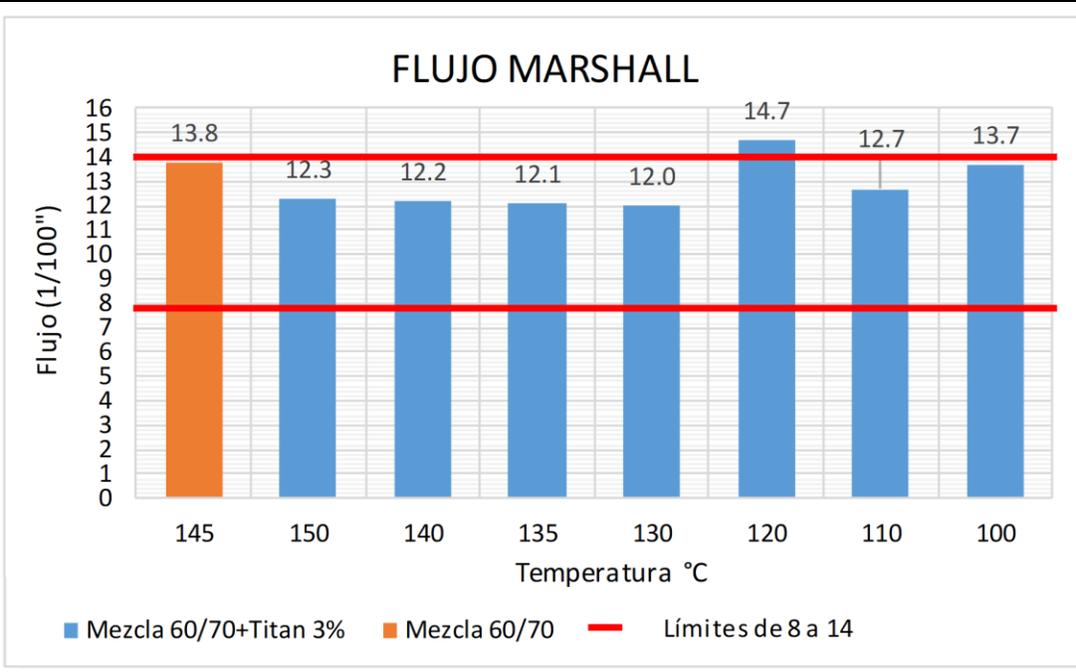
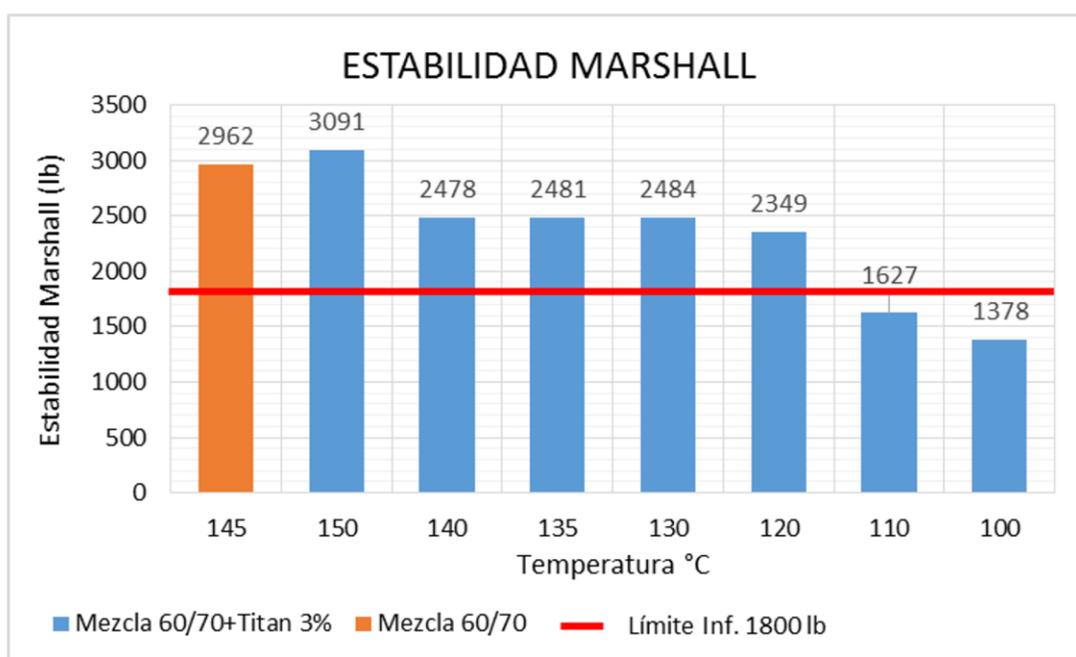
- 1.8×10^9 Pa = 1800 MPa para la mezcla con Asfalto 60/70
- 2.5×10^9 Pa = 2500 MPa para la mezcla con Asfalto 60/70+Titan3%



Estabilidad y Fluencia

Comparando la estabilidad entre la mezcla convencional y la mezcla con Titan al 3%, se observa que ésta última tiene 484 lb menos de estabilidad Marshall, sin embargo, esta disminución no afecta a la mezcla con Titan al 3% ya que el valor de 2.478 lb es mucho mayor a 1.800 lb recomendado para tráfico pesado.

Comparando el flujo entre la mezcla convencional y la mezcla con Titan al 3%, se observa que ésta última tiene 1.6 (13.8-12.2) décimas de pulgada menos de flujo, esto significa mayor resistencia a la deformación bajo una carga crítica probada en laboratorio a 60°C durante el ensayo Marshall.



Disminución de Costos en la Producción de WMA

Investigaciones realizadas en la Universidad de Washington, señalaron que la reducción del consumo energético se encontraba generalmente entre un **20 y un 50%**.

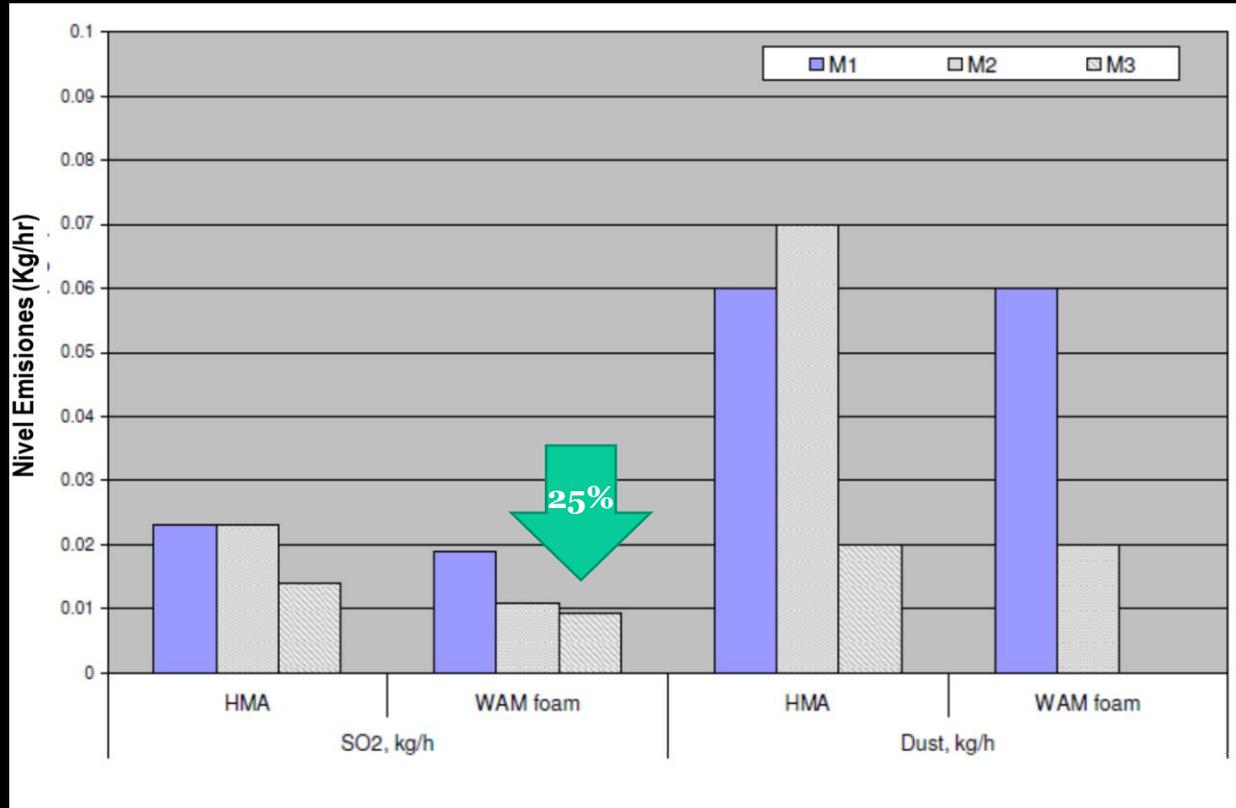
Un factor importante a la hora de hablar de los costos depende del tipo de energía y el costo de la misma, si el costo energético es alto, el beneficio será mayor. Si la energía proviene de materiales pétreos o de la electricidad, se requieren alrededor de 300.000 BTU para producir una tonelada de mezcla convencional, lo que equivale más o menos a 7,6-11,4 litros de gasolina o diesel o de 2.5 a 3.5 termias de gas natural.

Localización	Islandia	Honolulu,	Joliet, Illinois
Fuente de energía	Gasolina	Diesel	Gas natural
Cantidad para producir 1 tonelada de mezcla convencional ^a	7.6 – 11.4 litros	7.6 – 11.4 litros	2.5 – 3.5 termias
Costo del combustible ^b	0.66 \$/litro	0.58 – 0.79 \$/litro	<u>0.70</u> – 0.80 \$/termia
Costo del combustible para hacer 1 tonelada de mezcla convencional ^c	5.00-7.50 \$	4.40-9.00 \$	1.75-2.80 \$
Electricidad necesaria para producir 1 tonelada de mezcla convencional ^d	8-14 KWh	8-14 KWh	8-14 KWh
Costo de electricidad industrial ^e	0.02 \$/KWh	0.1805 \$/KWh	0.0445 \$/KWh
Costo de la electricidad para producir 1 tonelada de mezcla convencional ^f	0.16-0.28 \$/Tn	1.44-2.53 \$/Tn	0.36-0.64 \$/Tn
Costo energético total para producir 1 tonelada de mezcla convencional ^g	5.16-7.78 \$/Tn	5.84-11.53 \$/Tn	2.11-3.44 \$/Tn
20% ahorro con WMA ^h	1.00-1.50 \$/Tn	0.88-1.88 \$/Tn	0.36-0.56 \$/Tn
50% ahorro con WMA ⁱ	2.50-3.75 \$/Tn	2.20 – 4.50 \$/Tn	0.88 – 1.40\$/Tn

Medición de Emisiones en la fabricación de WMA

En un estudio de la compañía Shell Bitumen que se realizó en Florencia – Italia, se midieron las emisiones de gases en una planta modificada para producir asfalto con Tecnología de Espumación.





Medición de CO₂, CO y NO_x

Dióxido de Carbono CO₂ se reduce en 35% en toneladas por hora.

Monóxido de Carbono CO se reduce en 8% en kilogramos por hora.

Óxido de Nitrógeno NO_x se reduce en 60% en kilogramos por hora.

SO₂ y polvo son bajos se reduce en el orden del 25 al 30% en kilogramos por hora.



CONCLUSIONES

Se logró obtener una WMA a partir del uso de la Cera Polietilénica Honeywell Titan 7520. Se logró disminuir la temperatura de mezclado a 145°C y compactación a 135°C con una adición de 3% de aditivo.

El uso de esta tecnología promete reducciones significativas en gases y polvos contaminantes proporcionando beneficios ambientales; el ahorro en la energía de producción está entre un 20% a 50% dependiendo del combustible utilizado.



Aditivo



Asfalto



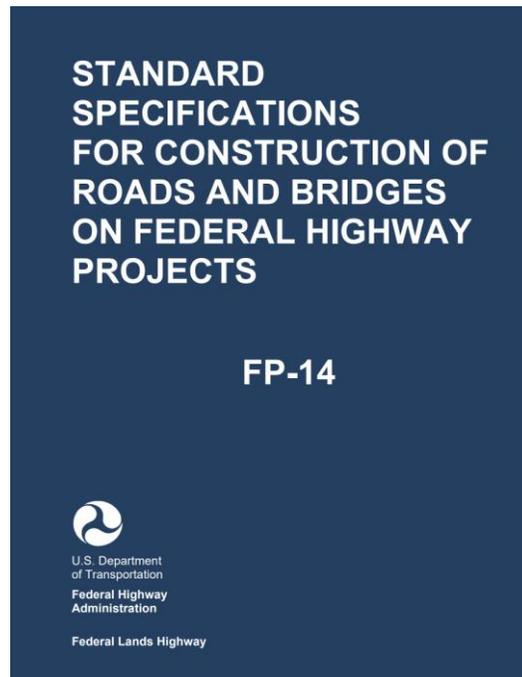
Agregado



WMA



La tecnología de WMA está muy bien desarrollada e investigada por lo que ya fue incorporada en las normas de varios países:



Section 402. — ASPHALT CONCRETE PAVEMENT BY HVEEM OR MARSHALL MIX DESIGN METHOD

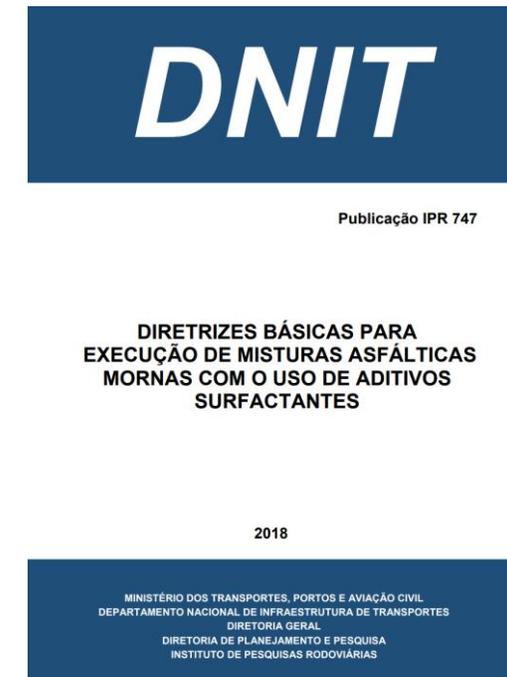
Description

402.01 This work consists of constructing one or more courses of asphalt concrete pavement using hot or warm mix asphalt (HMA or WMA).



2.3. Definición y nomenclatura para mezclas del tipo CAS con aporte de RAP

Se define como Concreto Asfáltico Semicaliente del tipo Convencional (CAS) a la combinación de un ligante asfáltico convencional, agregados (incluido Filler) y eventualmente aditivos y/o fibras; elaboradas en plantas asfálticas y colocadas en obra a una temperatura de, como mínimo, treinta grados Celsius (30 °C) por debajo de la temperatura correspondiente al mismo tipo de concreto asfáltico de la tecnología en caliente (CAC).



3.3 Incorporação do aditivo surfactante

O aditivo químico surfactante pode ser incorporado ao ligante asfáltico na usina, ou o ligante asfáltico pode ser previamente aditivado pela distribuidora de asfalto. O teor do aditivo químico surfactante varia de acordo com o tipo de agregado e ligante utilizados. Devem ser observadas as recomendações do fornecedor do aditivo, variando geralmente de 0,3 % a 0,7 %, em relação ao peso do ligante.

ASUNCIÓN
2022



GRACIAS POR SU ATENCION

