

Diseño de asfaltos modificados como base para el desarrollo de láminas asfálticas impermeabilizantes a partir de tereftalato de polietileno reciclado y asfalto AC-20

Flores Pinto Jonathan Paúl

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE PETROQUÍMICA
TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE PETROQUÍMICO**

Dr. Urrutia Goyes Edgar Ricardo, PhD.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

INTRODUCCIÓN

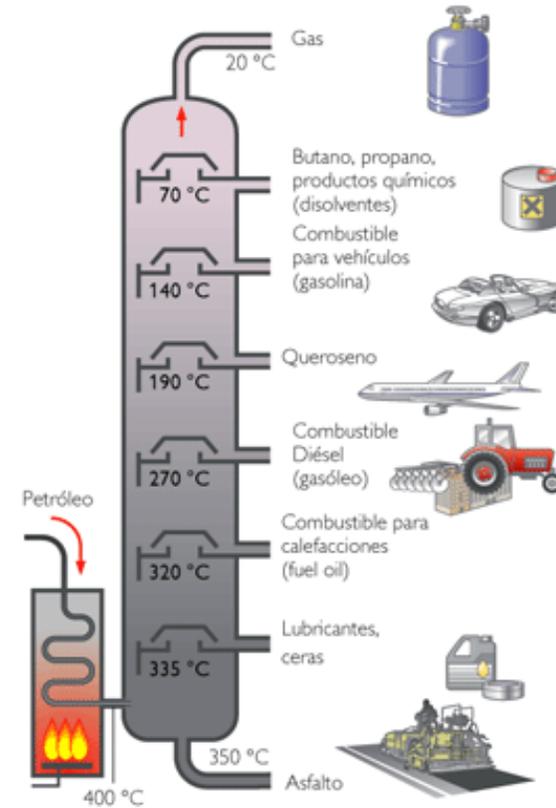
Tereftalato de polietileno (PET)



PET reciclado



Asfalto



Asfalto modificado



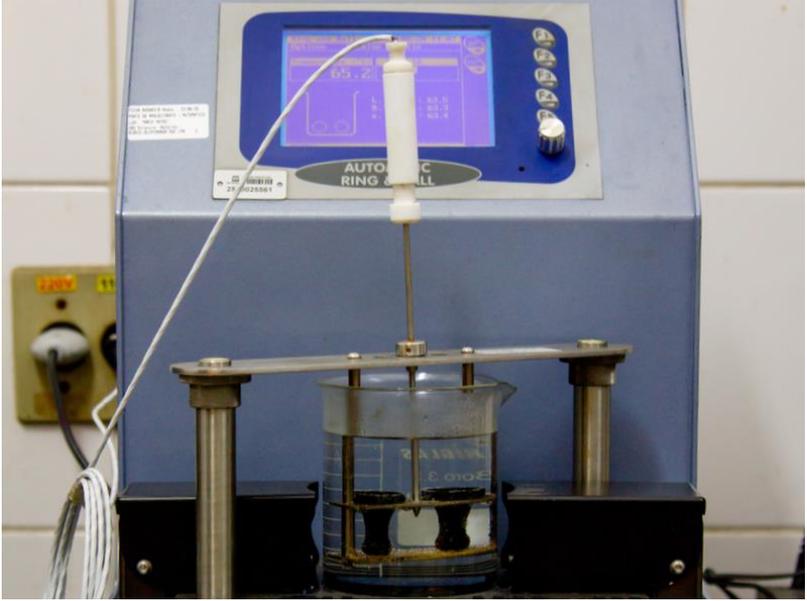
Láminas asfálticas impermeabilizantes



INTRODUCCIÓN

Propiedades físico-químicas

ENSAYO	NORMATIVAS
Requisitos. Productos derivados del petróleo. Cemento asfáltico (Clasificación por viscosidad)	NTE INEN 2515:2010
Requisitos. Impermeabilizantes	UNE 104232: Parte 2 NTE INEN 2137:98
Penetración	ASTM D5/D5M-20 UNE 104281/1-5 NTE INEN 917:2013
Punto de Reblandecimiento (Anillo y Bola)	ASTM D36/D36M-14 UNE-EN 1427:2015 NTE INEN 920:2013



Propiedades físico-químicas

ENSAYO	NORMATIVAS
	ASTM D92-18
Punto de Inflamación	UNE-EN ISO 2592:2018 INEN 808:2013
Recuperación Elástica	IRAM 6830
Viscosidad a altas temperaturas	ASTM D4402 ASTM D6
Pérdida por calentamiento	UNE-EN 13303:2018 NTE INEN 924:2013



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- **Diseñar asfaltos modificados** como base para el desarrollo de láminas asfálticas impermeabilizantes a partir de tereftalato de polietileno reciclado y asfalto AC-20.

OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las **propiedades físico-químicas del asfalto** proveniente de la Refinería de Esmeraldas, mismo que será usado como base para el desarrollo de las mezclas.
- Determinar las **condiciones óptimas de homogenización** con el fin de asegurar la compatibilidad entre el 1% del material modificante y el asfalto.
- Determinar la **correcta dispersión del 1% del material modificante** en el asfalto, mediante microscopia de la mezcla asfáltica.

OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las **propiedades físico-químicas de los asfaltos modificados** con el 1, 3, 5 y 7% de PET reciclado, a las condiciones previamente establecidas.
- Comparar las **propiedades físico-químicas de las mezclas asfálticas** y el asfalto inicial.
- Determinar **la viabilidad técnica** de utilizar el Tereftalato de polietileno reciclado como material modificante del asfalto y ser usado como base para el desarrollo de láminas asfálticas impermeabilizantes

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

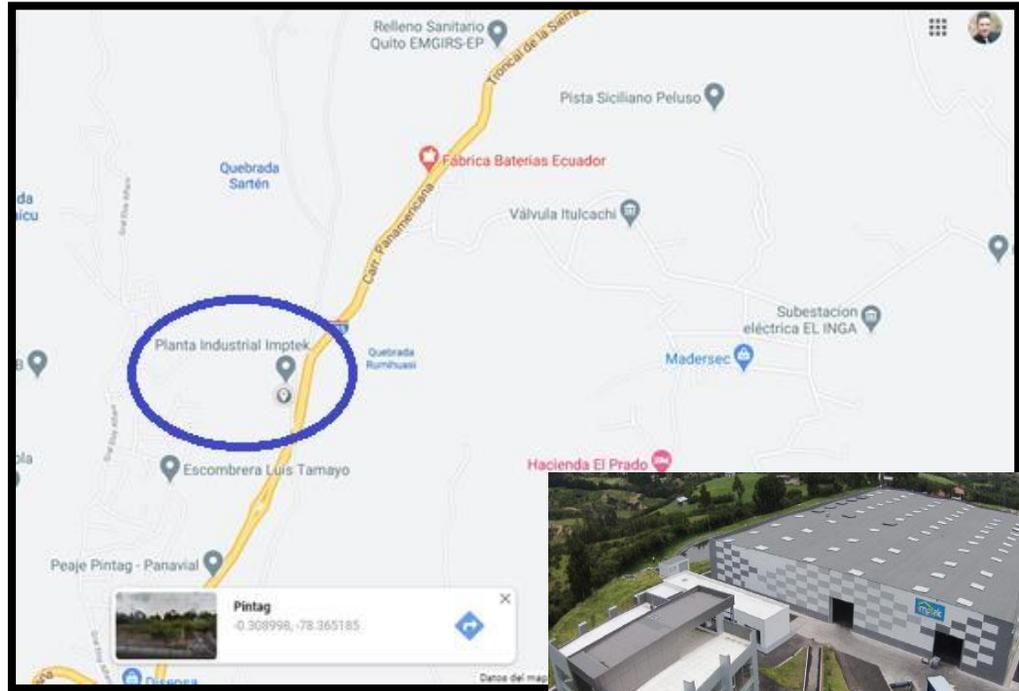
METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

METODOLOGÍA

Ubicación



Caracterización de la materia prima

Ensayo	Unidad	AC-2.5		AC-5		AC-10		AC-20		AC-40		Norma de ensayo
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa s ⁽⁴⁾	25 ± 5		50 ± 10		100 ± 20		200 ± 40		400 ± 80		ASTMD2171
Viscosidad cinemática a 135 °C	mm ² s ⁻¹⁽⁵⁾	80	--	110	--	150	--	210	--	300	--	ASTMD2170
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s	dmm	200	--	120	--	70	--	40	--	20	--	NTE INEN917
Punto de inflamación	°C	163	--	177	--	219	--	232	--	232	--	NTE INEN808
w Solubilidad en tricloroetileno	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN915
Pruebas realizadas al residuo del ensayo de película delgada al horno												ASTMD 1754
Viscosidad absoluta a 60°C	Pa s ⁽⁴⁾	--	125	--	250	--	500	--	1 000	--	2 000	ASTMD2171
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	100 ⁽⁶⁾	--	100	--	50	--	20	--	10	--	NTE INEN916

(4) 1 Pa s(Pascal segundo) = 10 P (Poise).

(5) Ver NTE INEN 53

(6) Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5cm/min.

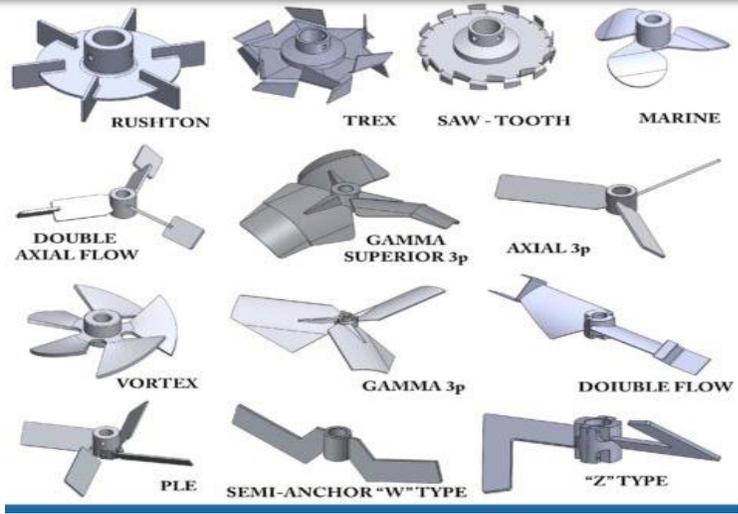


METODOLOGÍA

Determinación de condiciones de homogenización



Ensayo	Temperatura de adición del PET (°C)	Tipo de disco	Velocidad del disco (RPM)	Rango de temperatura de mezcla (°C)	Tiempo de mezclado (min)	Compatible
1						
2						

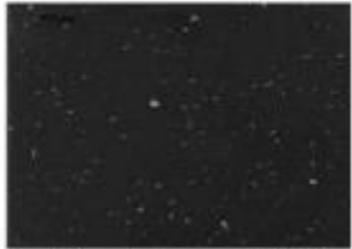


METODOLOGÍA

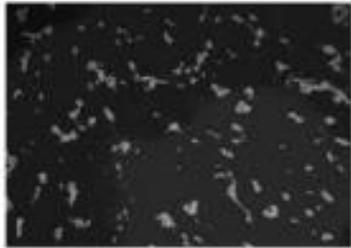
Dispersión del Tereftalato de polietileno reciclado



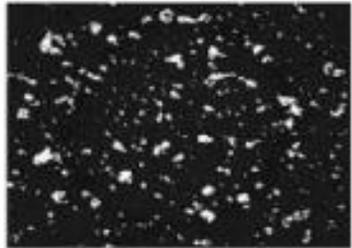
(a) base bitumen



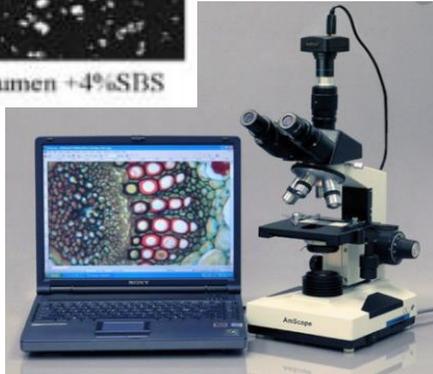
(b) base bitumen +2%SBS



(c) base bitumen +3%SBS



(d) base bitumen +4%SBS



Modificación con los demás porcentajes



- 1
- 3
- 5
- 7



METODOLOGÍA

Caracterización de los asfaltos modificados



Análisis



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Asfalto inicial

Las propiedades físico-químicas corresponden al asfalto recibido de la Refinería de Esmeraldas, mismo que es usado como base para el desarrollo del presente estudio. Se clasifica como un AC-20.

PROPIEDAD	UNIDADES	NTE INEN 2515:2013 AC-20		VALOR
		Mín.	Máx.	
Punto de Reblandecimiento	°C	-	-	50.6
Penetración	dmm	40	-	62.67
Viscosidad (60 °C)	Pa*s		200±40	261.7
Viscosidad (135 °C)	mm ² s ⁻¹	210	-	437.5
Punto de Inflamación	°C	232	-	242.7
Recuperación elástica inicial	%	-	-	7.78
Recuperación elástica final	%	-	-	9.72
Densidad	g/ml	-	-	0.9958

Condiciones de modificación

Ensayo	Disco Utilizado	Resultado	Observación
1			Separación de fase. Se descarta tratamiento.
2			Separación de fase. Se descarta tratamiento.

Ensayo	Disco Utilizado	Resultado	Observación
3			No se incorpora todo el PET. Se descarta tratamiento
4			No se incorpora todo el PET. Se descarta tratamiento

Condiciones de modificación

Ensayo	Disco Utilizado	Resultado	Observación
5			No se incorpora todo el PET. Se descarta tratamiento
6			Homogeneidad. Se acepta tratamiento

Ensayo	Disco Utilizado	Resultado	Observación
7			Leve separación de fase a las 24 horas. Se descarta tratamiento

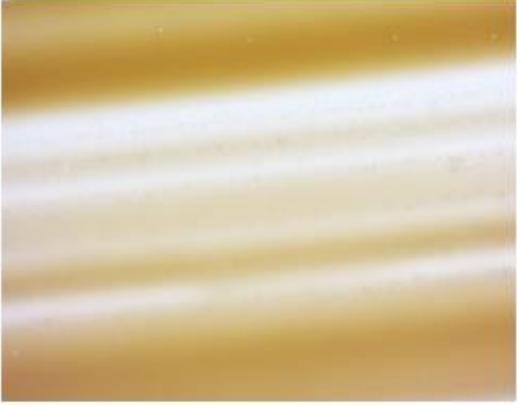
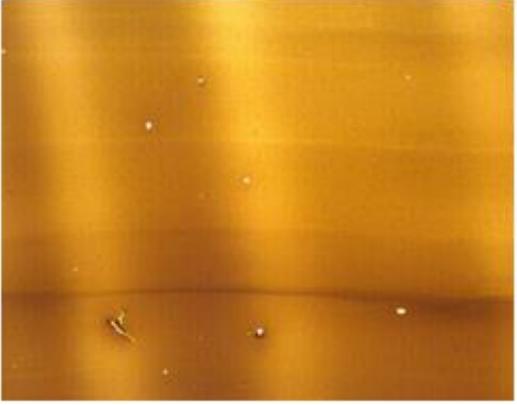
Condiciones de modificación

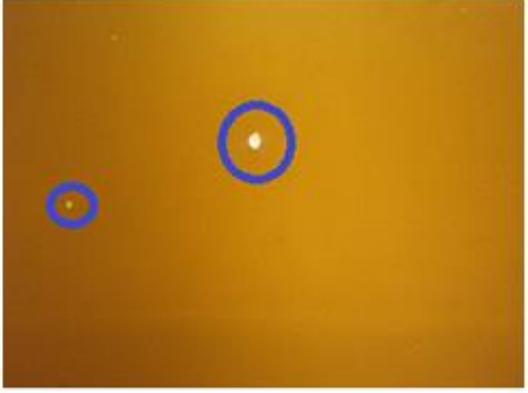
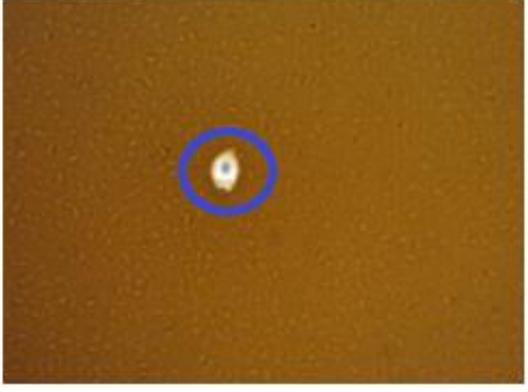
La condiciones de operación a las cuales el asfalto es compatible con el 1% de PET reciclado. Adicionar el PET reciclado a 150 °C, utilizar el disco de Cizallamiento a 5000 RPM, manteniendo un rango de temperatura de 170-180 °C durante 150 minutos.

Ensayo	Temperatura de adición del PET (°C)	Tipo de disco	Velocidad del disco (RPM)	Rango de temperatura de mezcla (°C)	Tiempo de mezclado (min)	Compatible
1	150	Hoja abierta	72	190-200	120	No
2	150	Hoja abierta	72	170-180	120	No
3	150	Corte	1000	170-180	150	No
4	150	Corte	2500	190-200	150	No
5	150	Corte pequeño	5000	190-200	150	No
6	150	Cizallamiento	5000	170-180	150	Sí
7	150	Cizallamiento	5000	190-200	150	No

RESULTADOS

Dispersión del PET reciclado

Tiempo (min)	Imagen	Observación
0		Asfalto puro
40		El PET reciclado comienza a dispersarse en el asfalto

Tiempo (min)	Imagen	Observación
80		La dispersión del polímero avanza sin embargo aún existe PET sin polimerizar
120		La dispersión del polímero es casi total sin embargo aún existen pequeñas cantidades de PET sin polimerizar

Dispersión del PET reciclado

La dispersión total del PET reciclado en el asfalto se lo alcanza a los 150 minutos homogenización.

Tiempo (min)	Imagen	Observación
150		La dispersión del PET reciclado es homogénea en toda la muestra

Caracterización de las mezclas asfálticas

Asfalto modificado con el 1% de PET reciclado.

El cambio en las propiedades físico-químicas en comparación al asfalto inicial se debe a la correcta dispersión del 1% de PET reciclado en el asfalto.

PRODUCTO	Asfalto modificado con el 1% de PET reciclado									
FECHA	11/03/2021			Viscosidad (cP)	4417	2187	1150	642,9	402,5	
REBLANDECIMIENTO (°C)	71,9	72,3	72,1	Torque (%)	26,5	28	27,6	22,5	16,1	
PENETRACION (dmm)	29/30/31=30			Velocidad (RPM)	30	60	120	175	200	
Densidad (g/ml)	0,9922			Temperatura (°C)	125	135	145	155	165	
	7,93	8,00	0,991	Perdida por calentamiento (%)	0,7285					
	8,42	8,54	0,993		50,02	3,50	53,18	0,7143		
	6,39	6,44	0,992		50,12	3,40	53,18	0,7251		
P. INFLAMACION (°C)	238,3				50,08	3,70	53,39	0,7462		
RECUPERACION ELASTICA (°)	12	16		OBSERVACIONES	Textura totalmente diferente al asfalto inicial					

Caracterización de las mezclas asfálticas

Asfalto modificado con el 3% de PET reciclado.

Las condiciones de homogenización para garantizar la dispersión cambian en función del porcentaje utilizado.

PRODUCTO	Asfalto modificado con el 3% de PET reciclado											
FECHA	26/03/2021			Viscosidad (cP)	100	530	350	235	125			
REBLANDECIMIENTO (°C)	55,1	56,1	55,8	Torque (%)	20	17,4	14	9,4	5			
PENETRACION (dmm)	60/60/61=60,33			Velocidad (RPM)	100	150	200	200	200			
Densidad (g/ml)	0,9826			Temperatura (°C)	125	135	145	155	165			
	6,08	6,19	0,982	Perdida por calentamiento (%)	0,2283							
	6,32	6,43	0,982		50,00	50,00	50,00	50,00	50,00			
	6,30	6,41	0,982		50,18	50,18	50,18	50,18	50,18			
P. INFLAMACION (°C)	252,8				50,08	3,70	50,08	50,08	50,08			
RECUPERACION ELASTICA (%)	15		17.	OBSERVACIONES	Textura semejante al asfalto inicial							

Caracterización de las mezclas asfálticas

Asfalto modificado con el 5% de PET reciclado.

La textura semejante al asfalto inicial se debe a la poca modificación en las propiedades físico-químicas, existen pequeñas partículas de PET reciclado.

PRODUCTO	Asfalto modificado con el 5% de PET reciclado										
FECHA	27/03/2021			Viscosidad (cP)	1420	806,7	510	347,5	247,5		
REBLANDECIMIENTO (°C)	57,8	57,8	57,8	Torque (%)	28,4	24,2	20,4	13,9	9,9		
PENETRACION (dmm)	59/58/59=58,67			Velocidad (RPM)	100	150	200	200	200		
Densidad (g/ml)	0,9783			Temperatura (°C)	125	135	145	155	165		
	8,04	8,23	0,976	Perdida por calentamiento (%)	0,2940						
	8,15	8,33	0,978		50,05	3,30	53,19	0,3197			
	8,61	8,79	0,979		48,45	3,38	51,68	0,2683			
P. INFLAMACION (°C)	257,2				50,12	3,42	53,69	0,2940			
RECUPERACION ELASTICA (°)	15		17	OBSERVACIONES	Textura semejante al asfalto inicial con pequeñas partículas						

Caracterización de las mezclas asfálticas

Asfalto modificado con el 7% de PET reciclado

Las partículas pequeñas son el PET reciclado que no logró dispersarse en el asfalto por eso las propiedades físico-químicas son semejantes a las del asfalto inicial.

PRODUCTO	Asfalto modificado con el 7% de PET reciclado										
FECHA	27/03/2021			Viscosidad (cP)	2330	1340	837,5	572,5	407,5		
REBLANDECIMIENTO (°C)	59,5	60,5	60	Torque (%)	46,6	40,2	33,5	22,9	16,3		
PENETRACION (dmm)	51/52/52=51,87			Velocidad (RPM)	100	150	200	200	200		
Densidad (g/ml)	1,005			Temperatura (°C)	125	135	145	155	165		
	7,84	7,81	1,004	Perdida por calentamiento (%)	0,2644						
	8,50	8,45	1,008		50,07	3,54	53,48	0,2986			
	8,56	8,52	1,005		50,03	3,40	53,31	0,2399			
P. INFLAMACION (°C)	258,8				50,04	3,47	53,64	0,2538			
RECUPERACION ELASTICA (%)	12		18	OBSERVACIONES	Textura semejante a la del asfalto inicial						

Comparativo de las propiedades de los asfaltos modificados con la normativa NTE INEN 2137:98

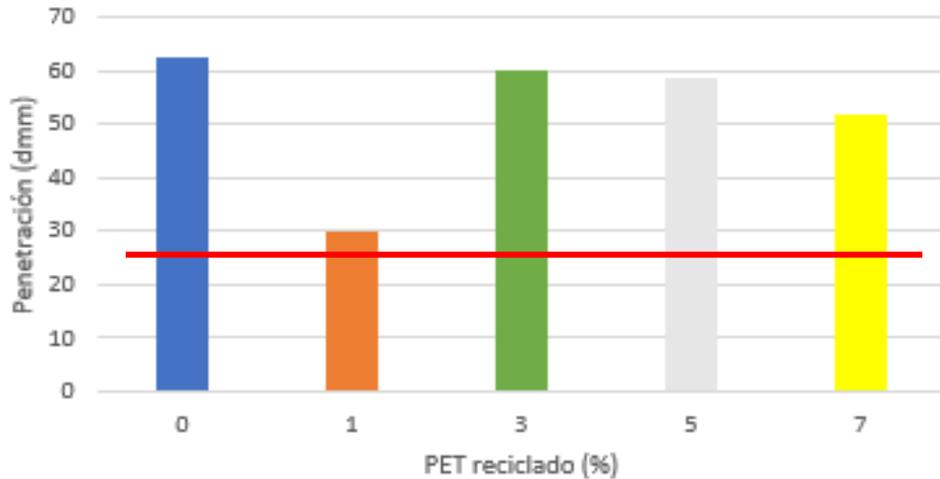
Ningún asfalto modificado con PET cumple con todos los requisitos.

Requisitos	Unidad	NTE INEN 2137:2013		Asfalto modificado con PET reciclado			
		Mín.	Máx.	1 %	3 %	5 %	7 %
Punto de reblandecimiento	°C	110	-	72.1	55.6	57.8	60
Penetración	dmm	-	25	30	60.67	58.33	51.67
Pérdida por calentamiento	% m	-	1.0	0.73	0.23	0.30	0.26

Comparativos entre las propiedades físico-químicas del asfalto inicial y los modificados

Penetración

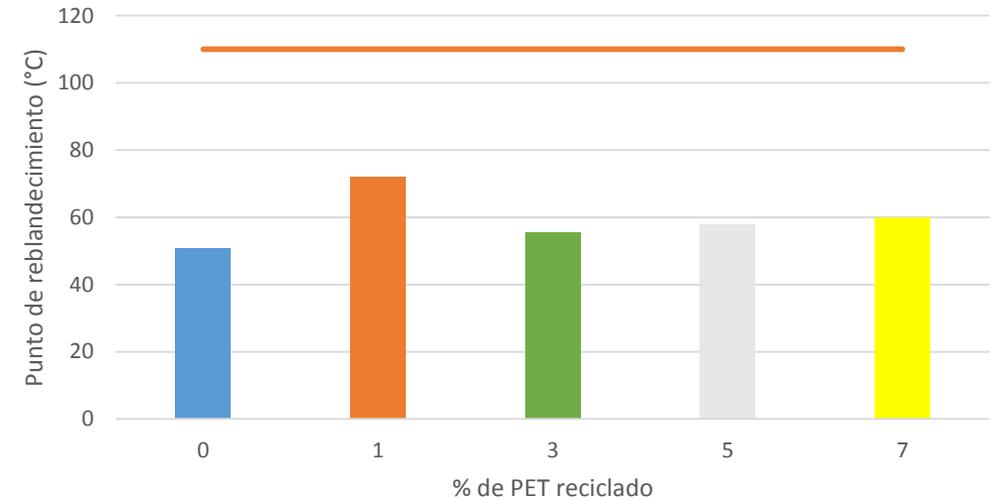
% PET vs Penetración



La penetración es inversamente proporcional al porcentaje de PET reciclado utilizado en la modificación del asfalto.

Punto de reblandecimiento

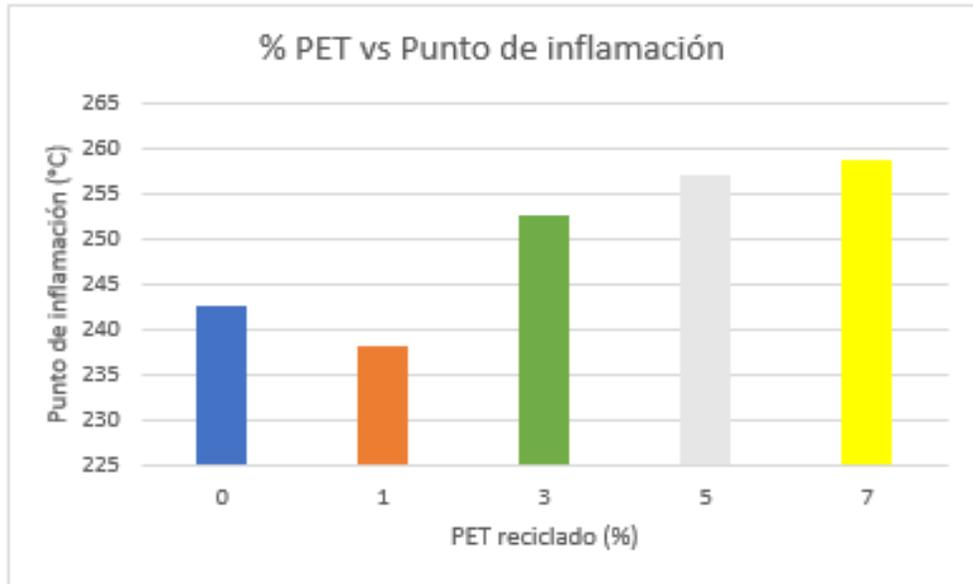
% PET vs Punto de Reblandecimiento



El punto de reblandecimiento es directamente proporcional al porcentaje de PET reciclado utilizado en la modificación del asfalto, el PET aporta a la mezcla mayor resistencia a la temperatura.

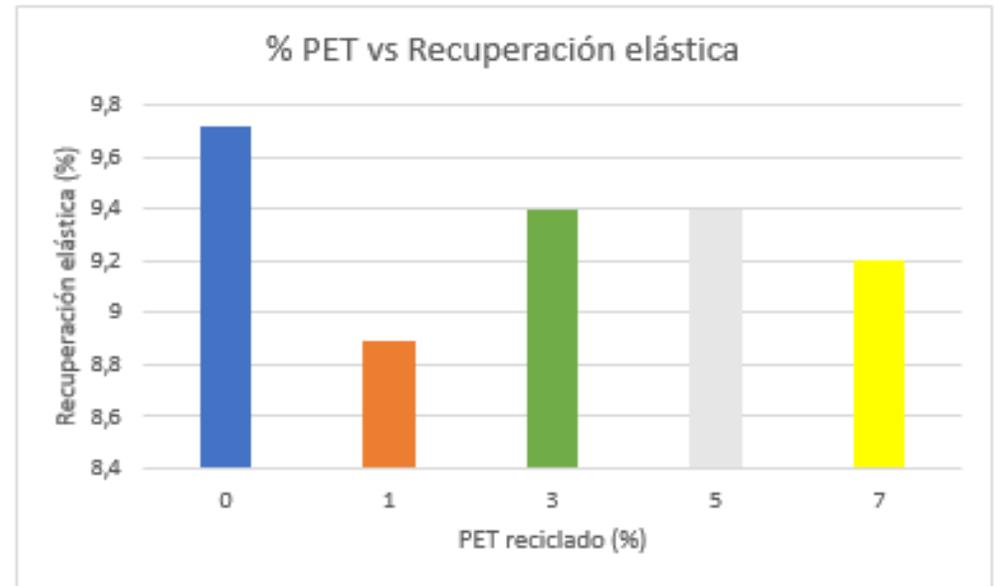
Comparativos entre las propiedades físico-químicas del asfalto inicial y los modificados

Punto de inflamación



El punto de inflamación es directamente proporcional al porcentaje de PET reciclado utilizado en la modificación del asfalto.

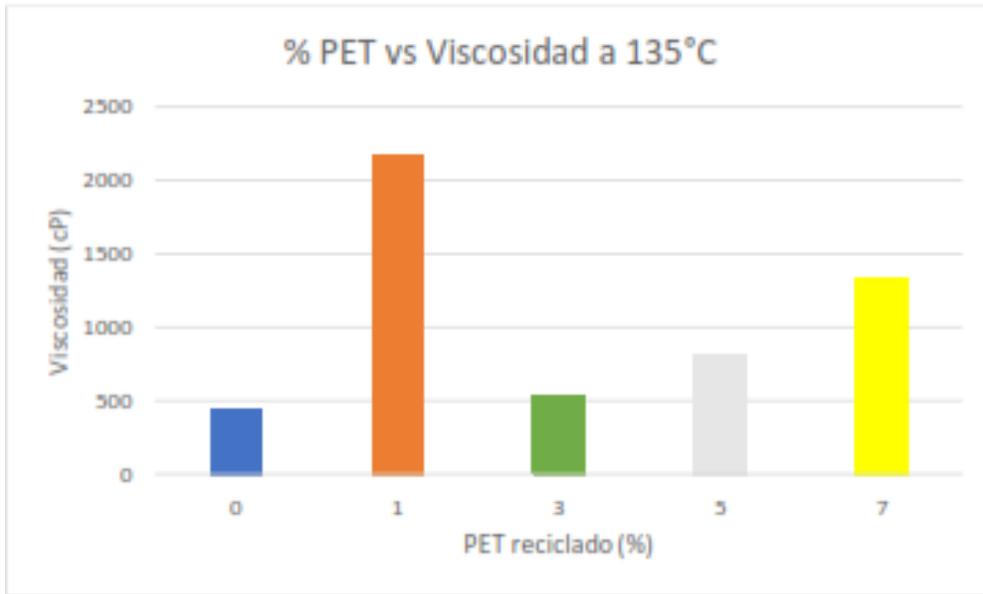
Recuperación elástica



La recuperación elástica es inversamente proporcional al porcentaje de PET reciclado utilizado en la modificación del asfalto.

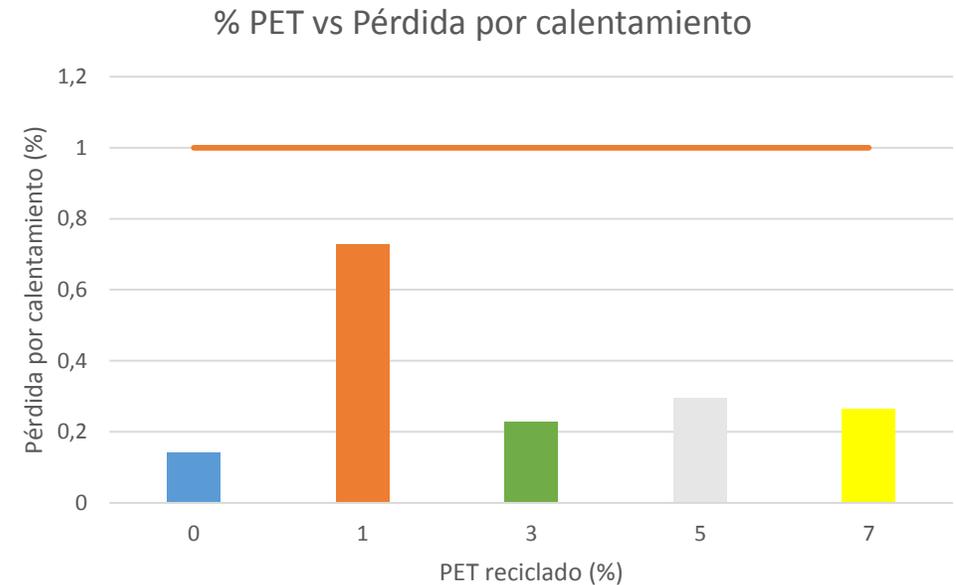
Comparativos entre las propiedades físico-químicas del asfalto inicial y los modificados

Viscosidad a 135°C



La viscosidad es directamente proporcional al porcentaje de PET reciclado utilizado en la mezcla.

Pérdida por calentamiento



La pérdida por calentamiento es directamente proporcional al porcentaje de PET reciclado utilizado en la mezcla.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se diseñaron asfaltos modificados como base para el desarrollo de láminas asfálticas impermeabilizantes a partir de tereftalato de polietileno reciclado y asfalto AC-20. **Ninguna mezcla cumplió** con todos los requerimientos físico-químicos establecidos por las normativas UNE 104232: Parte 2 y la NTE INEN 2137:98.
- Se determinaron las propiedades físico-químicas del asfalto proveniente de la Refinería de Esmeraldas, mismo que será usado como base para el desarrollo de las mezclas. Las propiedades del asfalto lo caracterizan como un **asfalto tipo AC-20** mediante la normativa NTE INEN 2515:2010.
- Se determinaron las condiciones óptimas de homogenización con el fin de asegurar la compatibilidad entre el 1% del material modificante y el asfalto. **Las condiciones óptimas son adicionar el PET reciclado a 150 °C, utilizar el disco de Cizallamiento a 5000 RPM, manteniendo un rango de temperatura de 170-180 °C durante 150 minutos.**

CONCLUSIONES

- Se determinó la correcta dispersión del 1% del material modificante en el asfalto, mediante microscopia de la mezcla asfáltica. La dispersión del 1% de PET reciclado avanza con el tiempo de homogenización a condiciones controladas, la dispersión total del polímero se lo alcanza a los **150 minutos** de homogenización.
- Se determinaron las propiedades físico-químicas de los asfaltos modificados con el 1, 3, 5 y 7% de PET reciclado, a las condiciones previamente establecidas. Las **propiedades físico-químicas cambiaron dependiendo el porcentaje de PET** reciclado adicionado.
- Se compararon las propiedades físico-químicas de las mezclas asfálticas y el asfalto inicial. Las mezclas asfálticas con **PET reciclado tienen características más plásticas** que el asfalto inicial.

CONCLUSIONES

- Se determinó la viabilidad técnica de utilizar el Tereftalato de polietileno (PET) reciclado como material modificante del asfalto y para ser usado como base para el desarrollo de láminas asfálticas impermeabilizantes. **No es viable a los porcentajes y condiciones estudiadas** ya que no cumplen con los requerimientos establecidos por las normativas UNE 104232: Parte 2 y la NTE INEN 2137:98.
- Las **condiciones de homogenización** que garanticen compatibilidad y una correcta dispersión del Tereftalato de polietileno reciclado en asfalto AC-20 **varían dependiendo el porcentaje** de polímero utilizado.

RECOMENDACIONES

- Determinar condiciones de operación para cada porcentaje de Tereftalato de Polietileno reciclado y así asegurar la compatibilidad del asfalto.
- Realizar modificaciones del asfalto AC-20 a las mismas condiciones de homogenización con el 0.75, 1, 1.25, 1.5 y 2% de Tereftalato de polietileno reciclado y comparar sus propiedades físico-químicas con los requerimientos establecidos por las normativas UNE 104232: Parte 2 y la NTE INEN 2137:98.
- Determinar la estabilidad de la mezcla mediante normativa para verificar que no cambie la distribución interna del material modificante.
- Modificar otros tipos de asfalto con Tereftalato de Polietileno reciclado y comparar sus propiedades físico-químicas con los requerimientos establecidos por las normativas UNE 104232: Parte 2 y la NTE INEN 2137:98.

GRACIAS

Diseño de asfaltos modificados como base para el desarrollo de láminas asfálticas impermeabilizantes a partir de tereftalato de polietileno reciclado y asfalto ac-20

Flores Pinto Jonathan Paúl

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE PETROQUÍMICA
TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE PETROQUÍMICO**

Dr. Urrutia Goyes Edgar Ricardo, PhD.