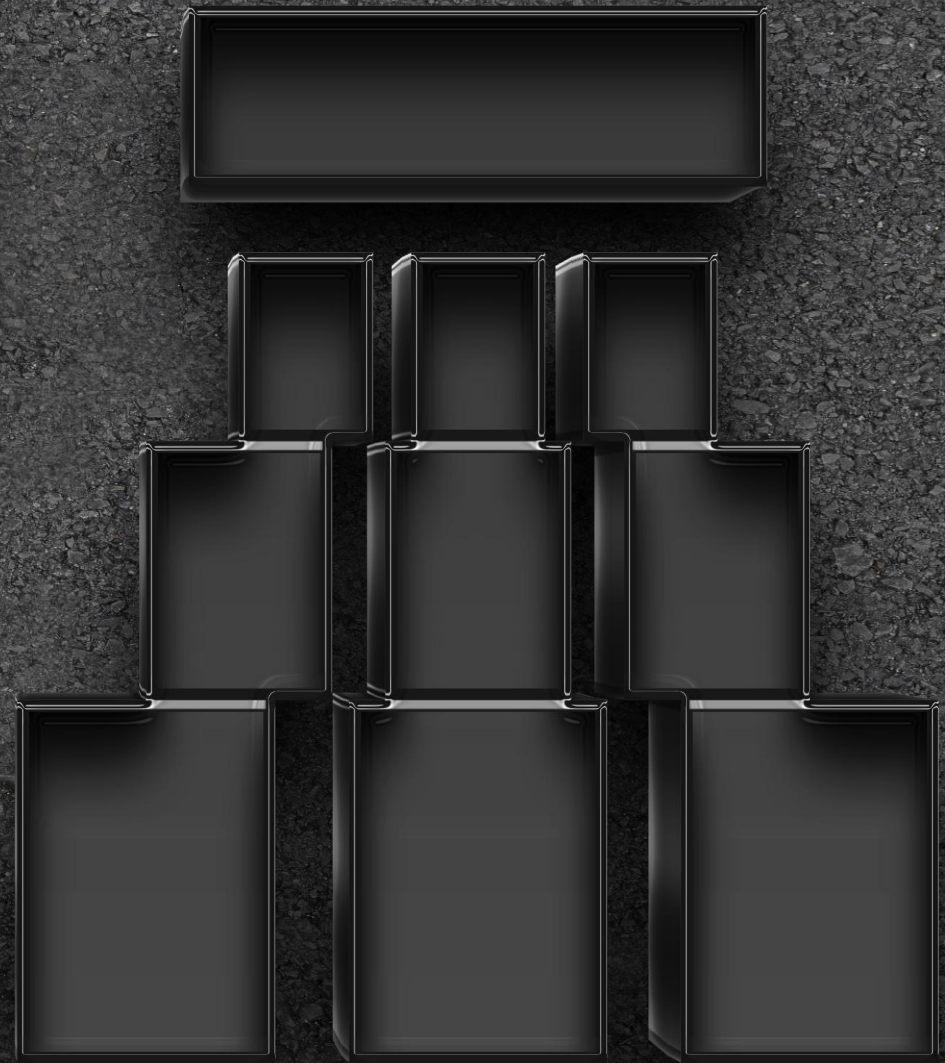




XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

Tema: **“DISPONIBILIDAD Y CARACTERIZACIÓN
DEL RAP
EN EL ÁREA METROPOLITANA DE
MONTERREY”**



M.I. LUIS GUILLERMO
DÍAZ FÉLIX

22 de agosto 2025

“DISPONIBILIDAD Y CARACTERIZACIÓN DEL RAP EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY”



M.I. LUIS GUILLERMO DÍAZ FÉLIX



XIII Congreso Mexicano del Asfalto. 20, 21y 22 de agosto de 2025, Cancún, Quintana Roo, México

CONTENIDOS



01

INTRODUCCIÓN



02

METODOLOGÍA

02.01 CARACTERIZACIÓN DEL RAP

02.02 EVALUACIÓN DEL ASFALTO RECUPERADO

02.03 ANÁLISIS ESPECTROSCÓPICO DEL RAP



03

RESULTADOS



04

CONCLUSIONES



Asociación Mexicana
del Asfalto, A. C.

@AMAACmx

<http://www.amaac.org.mx>



4



Introducción



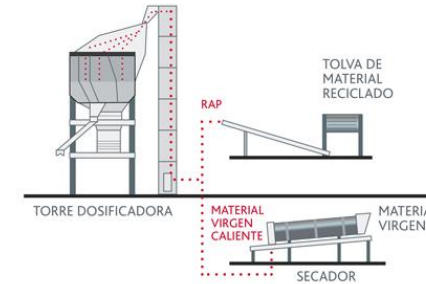
Fresado de las capas de firme a regenerar.



Extendido de las nuevas mezclas fabricadas con material reutilizado en las Autopistas.



Traslado, selección, cribado y acopio del material fresado en instalaciones específicas autorizadas para su posterior tratamiento.

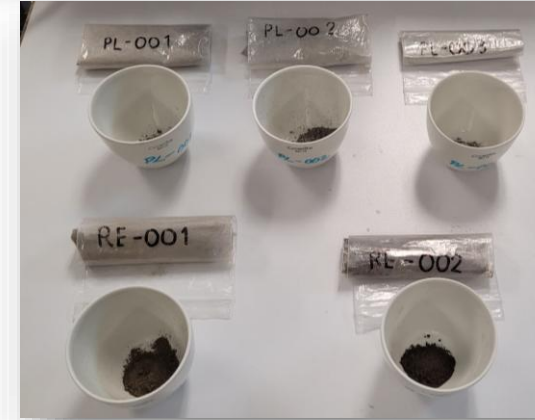


Fabricación en planta de mezclas de aglomerado con reutilización del material fresado.

La reutilización del pavimento asfáltico recuperado (RAP) se posiciona como una estrategia clave para promover la **sostenibilidad en la construcción de infraestructura vial**.

El uso de RAP en nuevas mezclas asfálticas no solo disminuye la necesidad de materiales vírgenes, sino que también contribuye a la **reducción de emisiones de CO₂ y al ahorro energético**, aspectos críticos en el contexto actual de transición hacia prácticas de construcción más sostenibles, (Copeland, 2011; Aurangzeb, 2014; Zhao et al., 2021).

Introducción



La caracterización del RAP es indispensable para **evaluar su reutilización en mezclas asfálticas** recicladas, lo que implica determinar propiedades físicas, mecánicas y químicas.

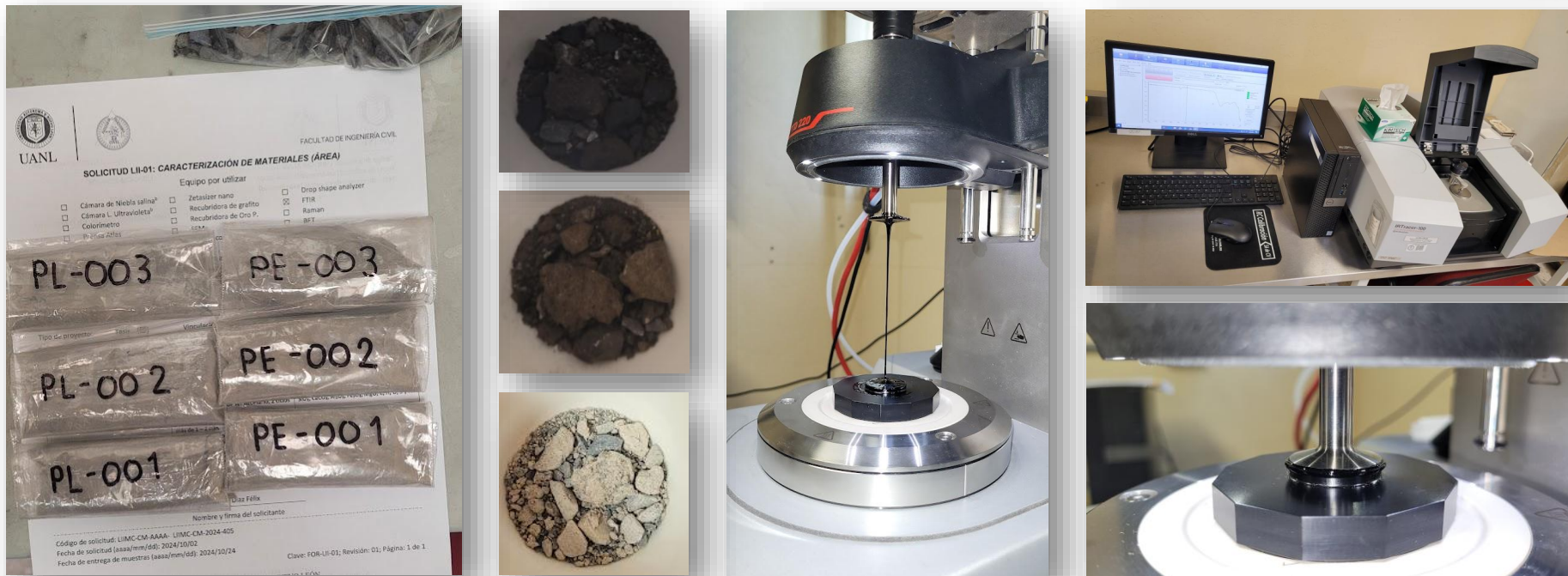
Introducción



En el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), se han identificado **deficiencias significativas en las prácticas de almacenamiento y manejo del RAP**, como la exposición a condiciones ambientales adversas (humedad, radiación solar) y la mezcla de lotes de diferentes orígenes, lo que dificulta la estandarización de su calidad.

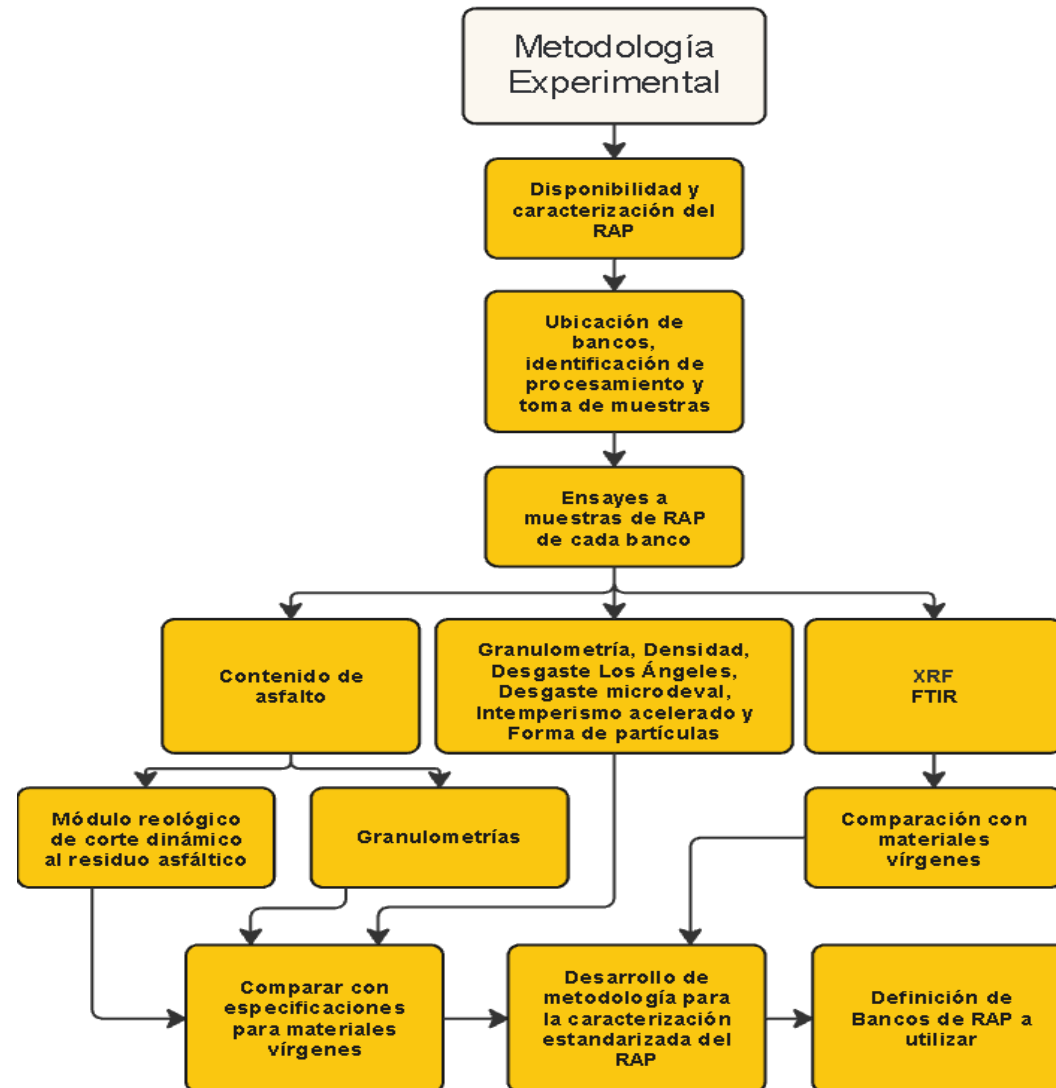
El aprovechamiento del RAP en Monterrey enfrenta barreras importantes, entre ellas la falta de **políticas públicas que regulen y promuevan su uso**, así como la carencia de procedimientos estandarizados para su caracterización y manejo.

Introducción



Se propone una metodología que combina **ensayos tradicionales y técnicas avanzadas** de análisis, con el objetivo de **optimizar su reutilización** en nuevas mezclas asfálticas. Al validar las propiedades físicas, mecánicas y químicas del RAP, este trabajo busca sentar las **bases para un manejo más eficiente** de este recurso, fomentando su incorporación en proyectos de infraestructura vial y reduciendo la dependencia de materiales vírgenes.

Metodología



Metodología

● Caracterización del RAP

Contenido de cemento asfáltico, determinado mediante el método de **extracción centrífuga**, siguiendo las directrices de la norma ASTM D2172-17 (Método A).

Este análisis fue complementado con una validación adicional mediante el método del **horno de ignición**, conforme a la norma ASTM D6307-16.



Metodología



● Caracterización del RAP

La **granulometría** del material fue analizada conforme a la norma ASTM D5444-15, la **densidad** fue medida siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C127-15, el desgaste de los agregados se evaluó mediante dos ensayos: el **desgaste Los Ángeles** (ASTM C131-20) y **desgaste micro-Deval** (ASTM D6928-17), la durabilidad del RAP frente a condiciones climáticas adversas, se llevó a cabo un ensayo de **Intemperismo acelerado** conforme a la norma ASTM C88-18, la **forma de las partículas** gruesas del RAP utilizando la norma ASTM D4791-10.



Metodología

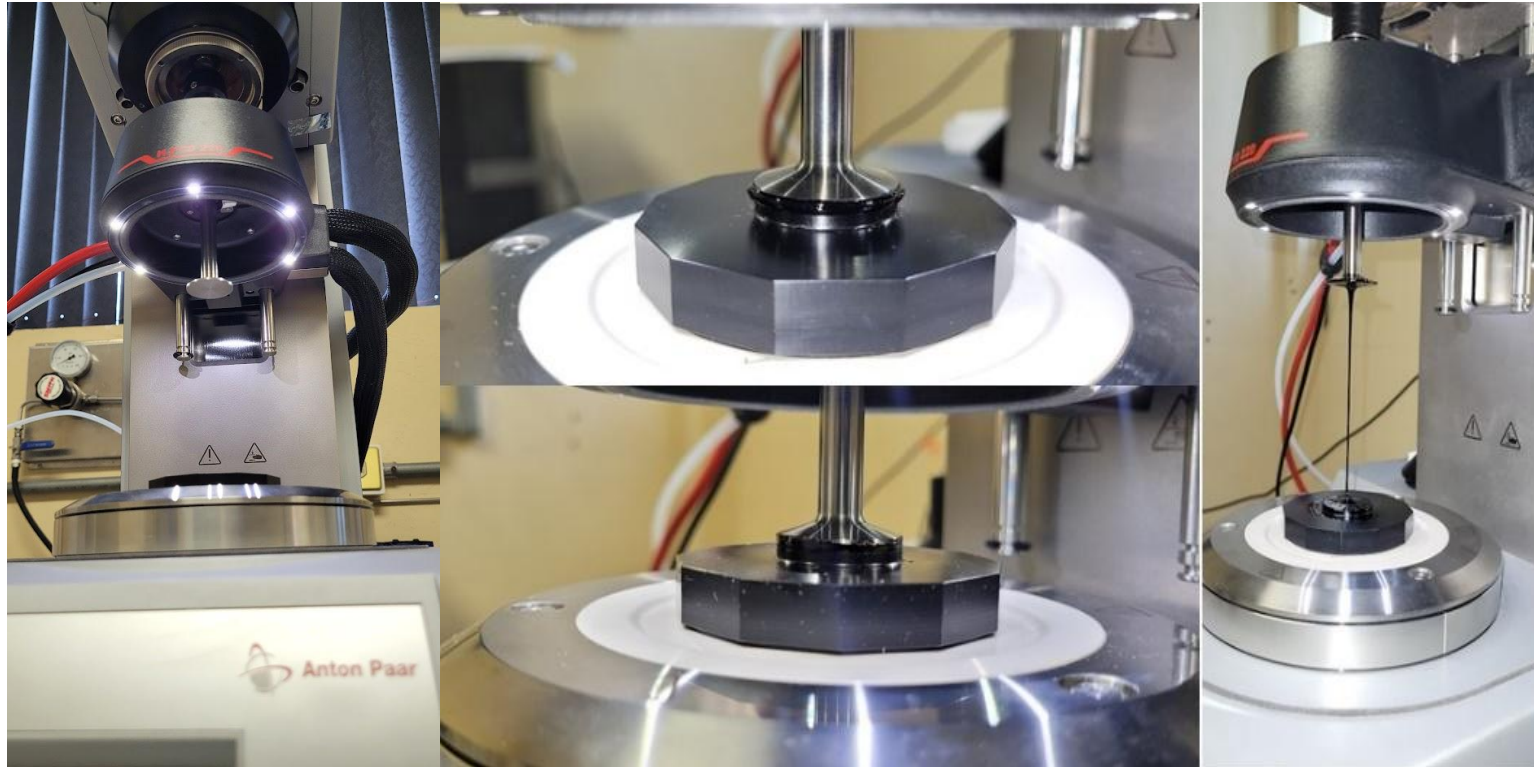
Caracterización del RAP

Los ensayos realizados son los referidos en la especificación **N.CMT.4.04/17** de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).

Característica		Valor
Grava		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2.4
Desgaste de Los Ángeles, %, mínimo		30
Desgaste Microdeval, %, mínimo		15
Intemperismo acelerado, %, 5 ciclos, máximo	Sulfato de sodio	15
	Sulfato de magnesio	20
Partículas alargadas y lajeadas, %, mínimo		35
Partículas trituradas, %, mínimo	Una cara	100
	Dos o más caras	90
Desprendimiento por fricción, %, máximo		20
Arena y finos		
Densidad relativa del material pétreo seco, mínimo		2.4
Angularidad, %, mínimo		45
Equivalente de arena, %, mínimo		55
Azul de metileno, mg/g, máximo		12

*Requisitos de calidad materiales pétreos para mezclas asfálticas de granulometría densa cuando $\sum L > 30 \times 10^6$
(sumatoria de ejes equivalentes de 8.2 ton en el pavimento es mayor a 30 millones para el horizonte de proyecto)*

Metodología



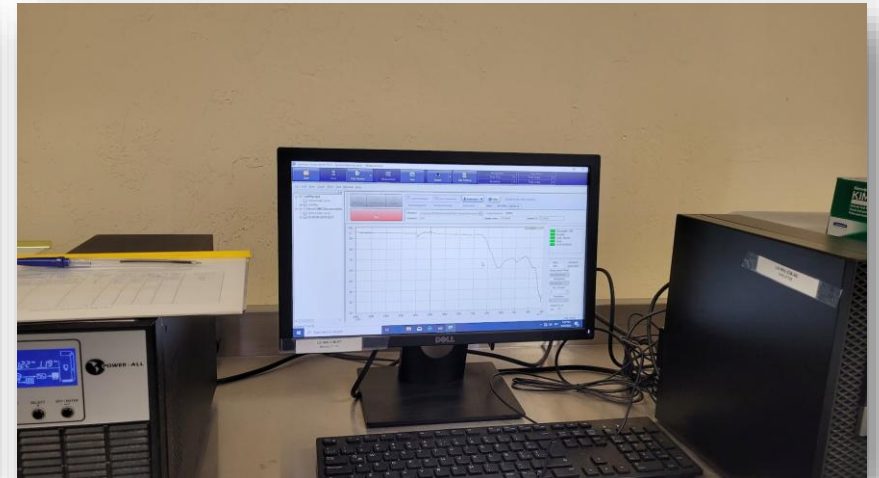
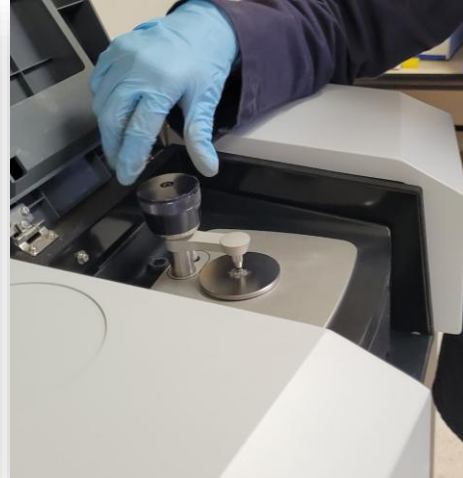
● Evaluación del asfalto recuperado

Se realizaron pruebas reológicas al asfalto recuperado de acuerdo con la norma ASTM D7175-15, empleando un reómetro de corte dinámico (DSR)

Metodología

● Análisis espectroscópico del RAP

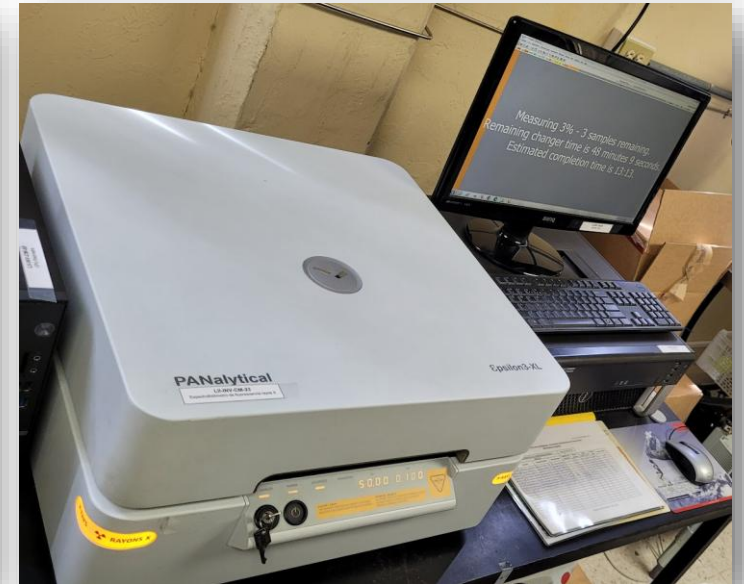
Se emplearon técnicas de caracterización espectroscópica con el objetivo de profundizar en la comprensión de la composición química del RAP. Se utilizó el equipo IRTracer-100 para la **espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)**, la cual permitió analizar la presencia de grupos funcionales en los componentes del RAP, proporcionando información sobre la **degradación del asfalto** y la posible oxidación de los ligantes asfálticos durante su vida útil. Este análisis es clave para identificar cambios químicos que puedan afectar el comportamiento del material cuando se reutiliza.



Metodología

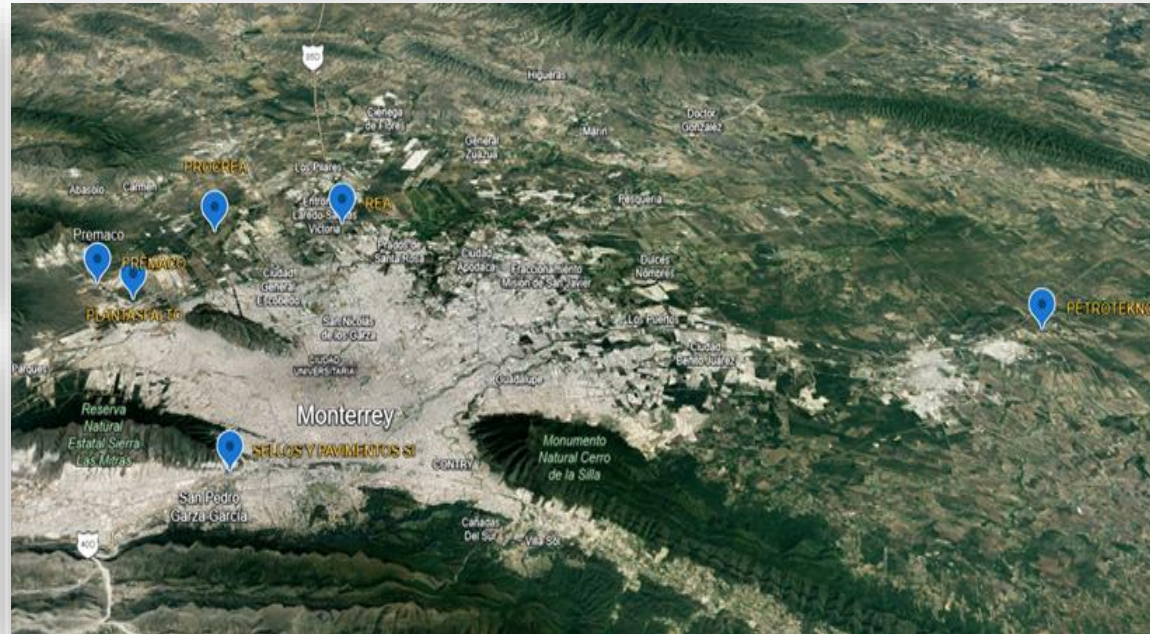
● Análisis espectroscópico del RAP

Se empleó el equipo Epsilon 3-XL para la **espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF)** determinando la composición elemental del RAP. Esta técnica permitió identificar la presencia de elementos traza y componentes minerales en los agregados reciclados, comparándolos con los materiales vírgenes.



Resultados

A pesar de los esfuerzos realizados, incluyendo consultas directas y solicitudes de información, no fue posible obtener datos concluyentes sobre la **existencia de mecanismos formales o procedimientos específicos para la gestión del RAP**, en el AMM.



Resultados

Tabla 1. Ubicación del RAP disponible

Banco	Ubicación	Volumen de RAP disponible (m ³)
No. 1 (PL)	Camino a las Pedreras 1250 Ejido San Miguel de los Garza, 66050, Gral. Escobedo, N.L. <u>25°49'14.29"N; 100°23'52.35"O</u>	20 700
No. 2 (PE)	Autopista: Monterrey- Reynosa, Cadereyta. N.L. <u>25°35'27.50"N; 99°54'30.16"O</u>	6 200
No. 3 (RE)	Carretera: Monterrey – Nuevo Laredo km 18, 66609, Apodaca N.L. <u>25°50'30.00"N; 100°14'50.78"O</u>	600
No. 4 (SE)	Cumbres del Valle, 64650 Monterrey, N.L. <u>25°40'22.37"N; 100°23'5.95"O</u>	7 000
No. 5 (PR)	Carretera: Monterrey-Monclova, 66580, Carmen, N.L. <u>25°51'59.27"N; 100°19'49.61"O</u>	750
No. 6 (PC)	Camino a las Pedreras, km 4.5 Parque Industrial Escobedo, N.L. <u>25°50'32.38"N; 100°24'53.65"O</u>	5 300
Volumen Total de RAP disponible (m³)		40 550

Los bancos de almacenamiento de RAP se localizan mayormente en **plantas de producción de mezclas asfálticas** (ver Tabla 1).

Resultados

Tabla 2. Contenidos de asfalto respecto a la mezcla por extracción centrífuga

Muestra	Banco No.1 (PL)	Banco No.2 (PE)	Banco No.3 (RE)	Banco No.4 (SE)	Banco No.5 (PR)	Banco No.6 (PC)
001	2.50 %	3.90 %	4.90 %	3.60 %	2.50 %	4.30 %
002	2.00 %	3.90 %	4.70 %	3.20 %	2.40 %	4.30 %
003	1.20 %	3.60 %	--	--	--	--
004	0.90 %	2.40 %	--	--	--	--

Los resultados obtenidos a partir de la prueba de contenido de cemento asfáltico mediante **extracción centrífuga** revelaron una variabilidad significativa (ver Tabla 2).

Resultados

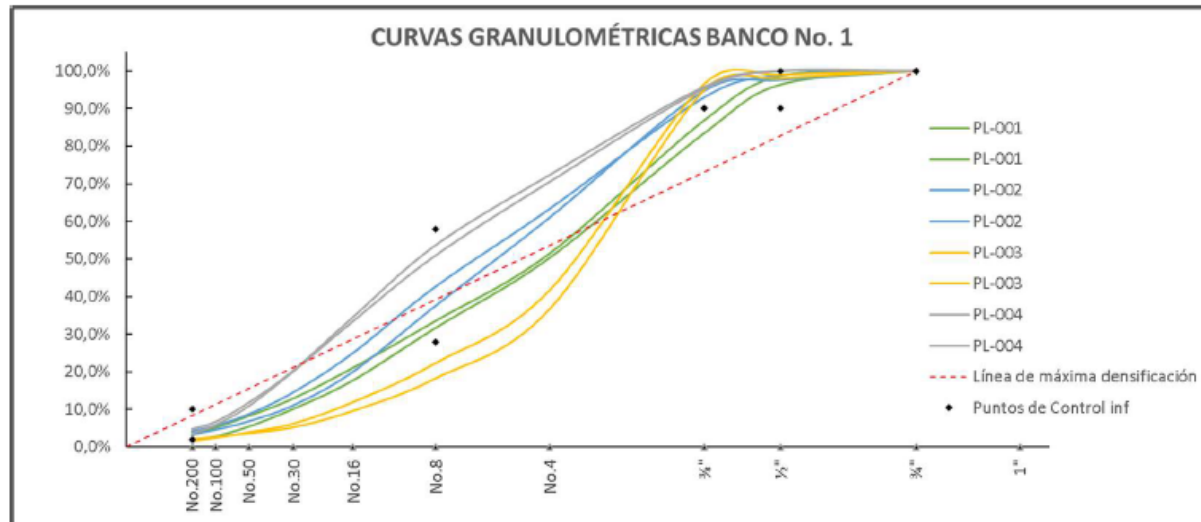


Figura 4. Curvas granulométricas Banco No.1

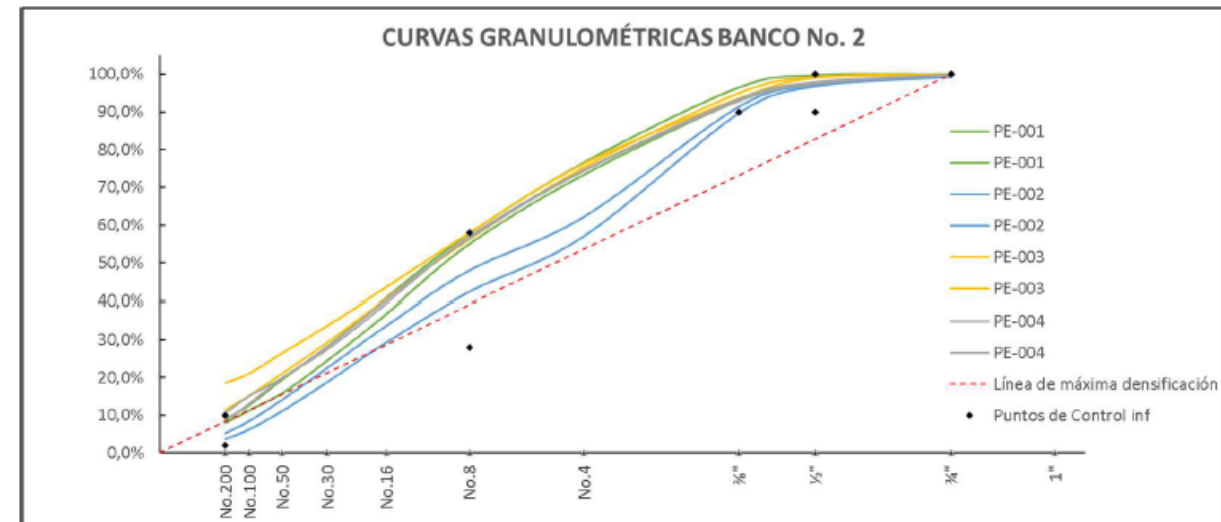


Figura 5. Curvas granulométricas Banco No.2

La composición granulométrica de los bancos No. 1 y No. 2 presenta una **amplia dispersión** en los resultados obtenidos a partir de ensayos duplicados realizados en cuatro muestras distintas de cada banco (ver Figuras 4 y 5).

Resultados

Tabla 3. Módulo reológico en barrido de temperaturas altas

Temperatura	G*/sen δ (kPa)					
	Banco 1 PL-001	Banco 2 PE-001	Banco 3 RE-001	Banco 4 SE-001	Banco 5 PR-001	Banco 6 PC-001
52.0 °C	10,80	38,10	168,00	14,30	41,40	24,30
58.0 °C	6,69	22,20	90,40	12,00	20,60	13,30
64.0 °C	4,09	12,70	48,30	9,06	10,30	7,23
70.0 °C	2,50	7,33	26,00	6,37	5,22	3,91
76.0 °C	1,54	4,24	14,10	4,39	2,70	2,16
82.0 °C	0,964	2,50	7,73	2,93	1,43	1,21

Los resultados de módulo reológico (ver Tabla 3) muestran que los asfaltos con mayores **temperaturas de falla** provienen de muestras de **RAP RE-001 y SE-001**.

Resultados

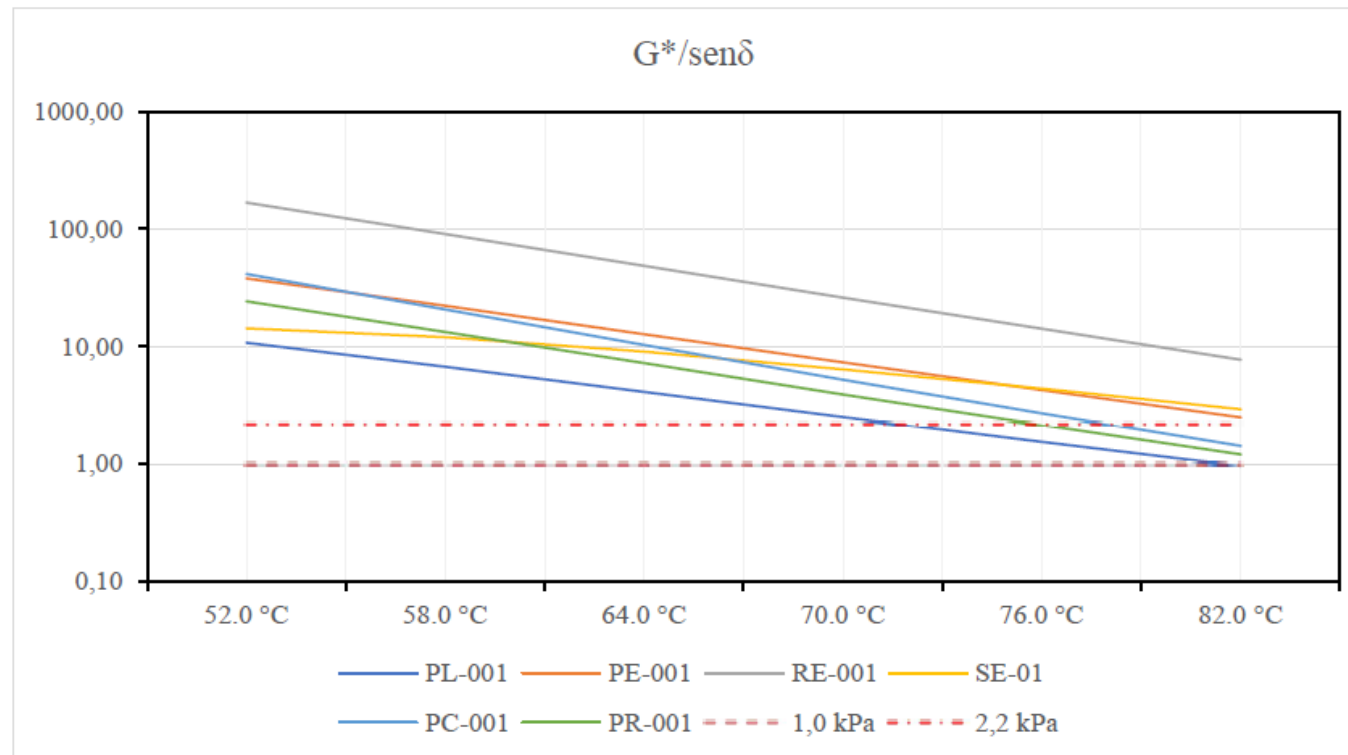


Figura 6. Módulo reológico para temperaturas de falla a 1,0 y 2,2 kPa

El asfalto recuperado del RAP de la muestra **PL-001** muestra la temperatura de falla más baja, lo que sugiere que es más aprovechable (ver Figura 6).

Resultados

Se identificaron diferencias significativas en la intensidad y forma de las bandas de absorción, las cuales reflejan el grado de envejecimiento y oxidación del asfalto. **La muestra RE-001 se destaca como la más envejecida**; en contraste, la muestra PL-001 exhibe las bandas menos intensas (ver Figura 7), lo que sugiere un menor grado de oxidación y envejecimiento, siendo consistente con los resultados de reología.

Este **enfoque multidimensional** permite una evaluación más precisa del estado del asfalto recuperado y optimiza su potencial de reciclaje en pavimentos sostenibles.

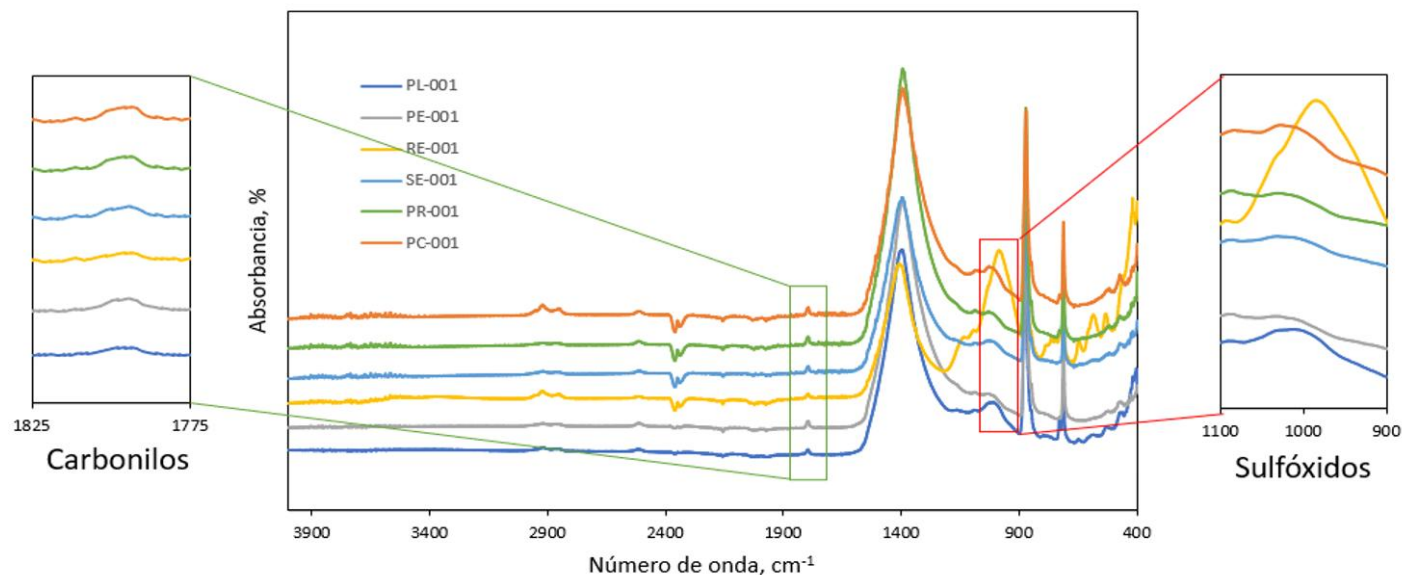


Figura 7. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier FTIR

Resultados

Tabla 4. Composición química de muestras mediante XRF

Compuesto	PL-001	PE-001	RE-001	SE-001	PR-001	PC-001
CaO (%)	76.108	91.829	37.021	88.831	92.75	88.877
SiO ₂ (%)	8.317	2.233	32.143	3.830	1.763	2.340
MgO (%)	5.253	0.450	2.394	0.622	1.678	1.743
SO ₃ (%)	0.843	0.632	1.057	1.050	0.501	1.399
Fe ₂ O ₃ (%)	2.755	0.461	7.583	1.177	0.353	0.549
Al ₂ O ₃ (%)	2.348	0.584	9.568	1.135	0.494	0.784
K ₂ O (%)	0.962	0.389	3.499	0.604	0.404	0.398
SrO (%)	0.263	0.072	0.298	0.095	0.413	0.183
Otros (%)	3.151	3.350	6.437	2.656	1.644	3.727

Las **composiciones químicas varían considerablemente** (ver Tabla 4) debido a las diferencias en los tipos de agregados y a la exposición previa de los materiales a condiciones ambientales.

Resultados

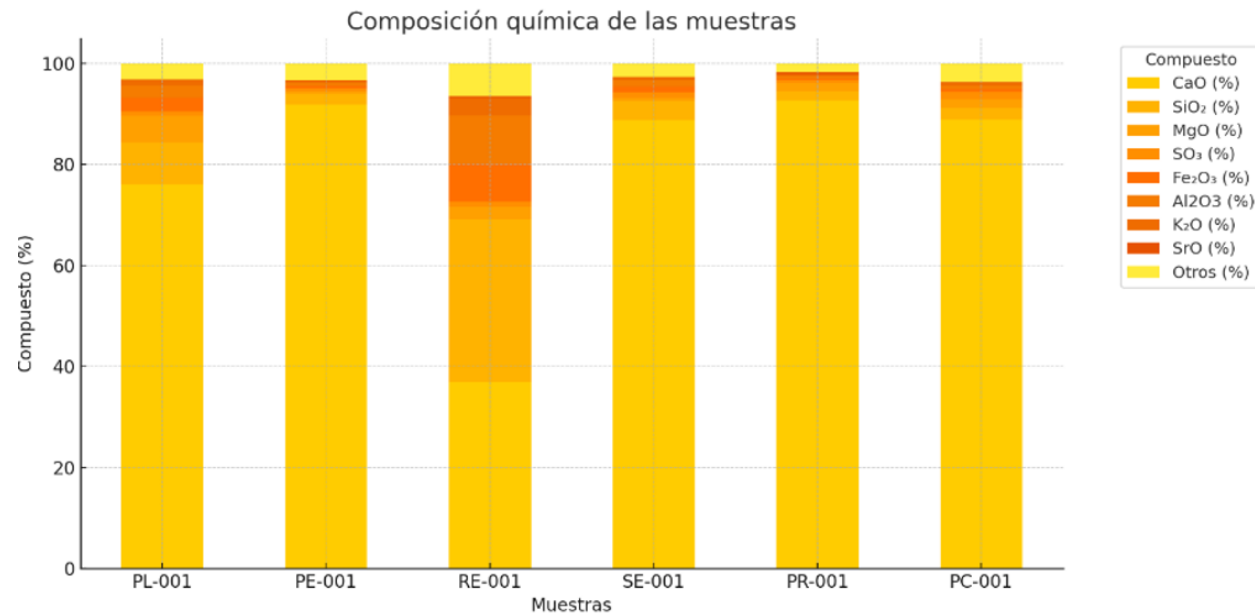


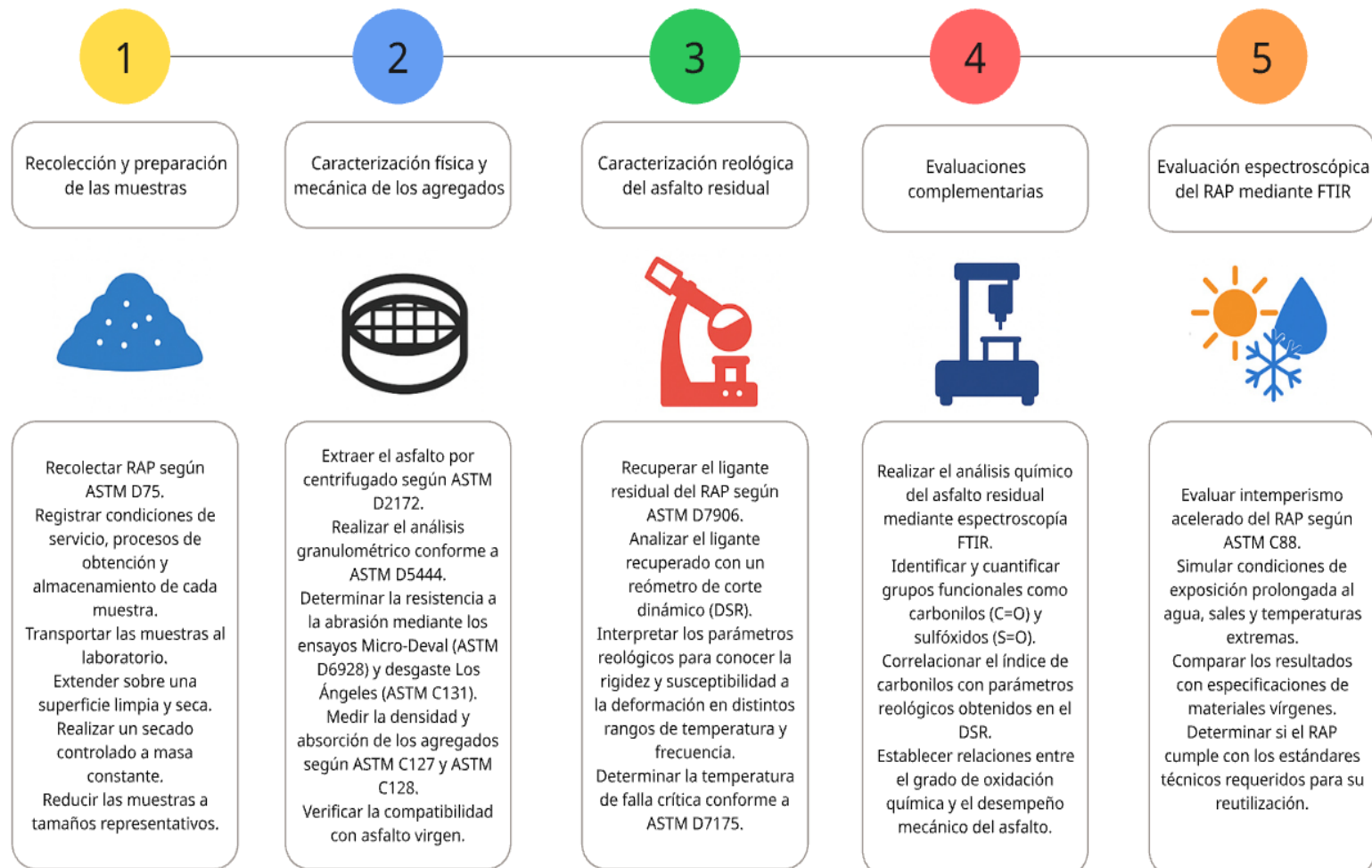
Figura 8. Composición química de muestras mediante XRF

Las muestras PE-001, PR-001, SE-001 y PC-001 presentan altos contenidos de **CaO**, superiores al 90% (ver Figura 8), lo que indica que están compuestas predominantemente por agregados calcáreos, como piedra caliza triturada. La muestra RE-001 destaca por su alto contenido de **SiO₂** (33.552%), una característica que se atribuye al uso de agregados silíceos o graníticos en la fracción gruesa.

Resultados

Este documento plantea una **metodología integral para la caracterización del RAP**, abarcando análisis reológicos, evaluaciones químicas mediante FTIR y XRF, además de pruebas mecánicas como desgaste e intemperismo acelerado (ver Figura 9). Estas etapas están diseñadas para proporcionar un **diagnóstico exhaustivo sobre las propiedades del RAP** y determinar su viabilidad para ser reutilizado en nuevas mezclas asfálticas.

Metodología integral para la caracterización del pavimento asfáltico recuperado (RAP)



Conclusiones

El estudio identificó **40 550 m³ de RAP distribuidos en seis centros de acopio** del Área Metropolitana de Monterrey. Este volumen confirma que el fresado es una práctica común en rehabilitación vial y que seguirá generando acumulación de material.

Las **prácticas de almacenamiento presentan deficiencias**: exposición ambiental, contaminación con materia orgánica y partículas industriales, lo que compromete la calidad del RAP.

El **grado de envejecimiento del RAP influye directamente en la calidad del ligante residual**. La muestra RE-001 fue la más envejecida, con intensa oxidación (bandas FTIR a 1705 cm⁻¹ y 1030 cm⁻¹), mayor rigidez y menor capacidad de deformación.

La muestra **PL-001 mostró menor oxidación** y rigidez, aunque presentó altos niveles de óxidos metálicos por contaminación externa durante el almacenamiento. Las muestras PE-001 y PR-001 también registraron buen estado químico y reológico, siendo aptas para mezclas de alto desempeño.

Se desarrolló una **metodología integral para caracterizar el RAP**: análisis granulométricos, ensayos mecánicos (Los Ángeles, intemperismo acelerado) y evaluaciones reológicas del asfalto residual.

No existen registros ni procedimientos oficiales para la recolección y disposición del RAP. Se propuso una metodología base de gestión, desde la recopilación y almacenamiento hasta su reutilización, fomentando trazabilidad y reducción de impactos ambientales.

El RAP en Monterrey es un reto y una oportunidad. **Con políticas claras y procesos estandarizados, puede convertirse en un recurso clave para rehabilitar pavimentos**, reducir el uso de materiales vírgenes y promover una economía circular en la construcción vial.

Bibliografía

- Abo-Qudais, S., & Al-Shweily, H. (2018). Effect of aggregate properties on asphalt mixtures stripping and creep behavior. *Construction and Building Materials*, 21(9), 1886–1898. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.07.014>
- Airey, G. D., Collop, A. C., Zoorob, S. E., & Elliott, R. C. (2011). Mechanical performance of asphalt mixtures incorporating slag and granite aggregates. *Construction and Building Materials*, 216–224.
- American Society for Testing and Materials. (2010). ATSM D4791-10 Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D4791-10>
- American Society for Testing and Materials. (2015a). ASTM D5444-15 Standard Test Method for Mechanical Size Analysis of Extracted Aggregate. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D5444-15>
- American Society for Testing and Materials. (2015b). ATSM C127-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0127-15>
- American Society for Testing and Materials. (2015c). ATSM C128-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0128-15>
- American Society for Testing and Materials. (2015d). ATSM D7175-15 Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D7175-15>
- American Society for Testing and Materials. (2016). ASTM D6307-16 Standard Test Method for Asphalt Content of Hot-Mix Asphalt by Ignition Method. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6307-16>
- American Society for Testing and Materials. (2017a). ASTM D2172/D2172M-17 Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D2172_D2172M-17
- American Society for Testing and Materials. (2017b). ATSM D6928-17 Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus. <https://doi.org/10.1520/D6928-1>
- American Society for Testing and Materials. (2018). ATSM C88/C88-18 Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate.
- American Society for Testing and Materials. (2020). ATSM C131/C131M-20 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0131_C0131M-20



Bibliografía

American Society for Testing and Materials. (2022). *ATSM D7906-22 Standard Practice for Recovery of Asphalt from Solution Using Toluene and the Rotary Evaporator*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D7906-22>

Aurangzeb, Q. (2014). *Impact of reclaimed asphalt pavements on pavement sustainability*.

Copeland, A., & Development, U. States. F. H. Administration. O. of I. R. and. (2011). *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice*. <https://doi.org/10.21949/1503647>

Huang, B., Shu, X., & Vukosavljevic, D. (2011). *Laboratory Investigation of Cracking Resistance of Hot-Mix Asphalt Field Mixtures Containing Screened Reclaimed Asphalt Pavement*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(11), 1535–1543. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000223](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000223)

Lesueur, D. (2009). *The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification*. *Advances in Colloid and Interface Science*, 145(1–2), 42–82. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.08.011>

Lu, X., & Isacsson, U. (2002). *Effect of ageing on bitumen chemistry and rheology*. *Construction and Building Materials*, 16(1), 15–22. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(01\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(01)00033-2)

Meza Uribe, N. (2023). *Revisión de literatura sobre el uso de pavimento asfáltico reciclado - RAP en las diferentes capas de la estructura del pavimento*.

Miranda-Argüello, F., Aguiar-Moya, J. P., Loría-Salazar, L. G., & Arriola-Guzmán, R. (2019). *Mezclas asfálticas con RAP: pavimentos asfálticos reciclados*.

Ren, S., Liu, X., Varveri, A., Khalighi, S., Jing, R., & Erkens, S. (2023). *Aging and rejuvenation effects on the rheological response and chemical parameters of bitumen*. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, 1289–1313. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.005>

Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes. (2017). *N.CMT.4.04/17 Características de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*.

Shigueiro Siroma, R., Lan Nguyen, M., Hornyh, P., & Chailleux, E. (2023). *A Literature Review of Bitumen Aging: From Laboratory Procedures to Field Evaluation A Literature Review of Bitumen Aging: From Laboratory Procedures to A literature review of bitumen aging: from laboratory procedures to field evaluation. Field Evaluation. Journal of Testing and Evaluation*, 2022(2). <https://doi.org/10.1520/JTE20210235i>

Sun, Y., Cannone Falchetto, A., Wang, D., Zhang, F., & Loria Salazar, L. G. (2024). *Reciclaje múltiple de pavimentos asfálticos un estudio de caso finlandés. Memoria Técnica CILA Granada*.



Bibliografía

Toth, C., Petho, L., & Rosta, S. (2023). Rheological characterisation of bituminous binder blends for the design of asphalt mixes containing high recycled asphalt content. *Acta Technica Jaurinensis*, 16(2), 62–74. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00694>

Valenzuela Henríquez, D. C. (2017). Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas con RAP. <http://hdl.handle.net/11673/23573>

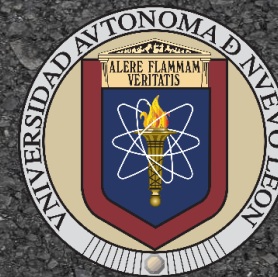
Vargas, X., & Reyes, F. (2010). El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos (Vol. 30, Issue 3). En español.

Villegas-Villegas, R. E., Aguiar-Moya, J. P., & Loria-Salazar, L. G. (2015). Estudio del envejecimiento y oxidación de asfaltos con FTIR y su relación con los parámetros reológicos.

West, R. C. (2015). *Quality Improvement Series 129 Best Practices for RAP and RAS Management*. www.AsphaltPavement.org

Zhao, Y., Goulias, D., & Peterson, D. (2021). Recycled asphalt pavement materials in transport pavement infrastructure: Sustainability analysis & metrics. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13148071>

¡ muchas gracias!



Ponente: M.I. Luis Guillermo Díaz Félix, Vías Terrestres IIC UANL

Contacto: Tel. Of. 81 8329 4000 ext.7212
Cel. 81 1999 3069
luis.diazfl@uanl.edu.mx